



Kaivosten kulutusteräskohteiden kartoitus, kulumisprofiili ja materiaalivalinnat

MineSteel

Satta Simo

Kone- ja tuotantotekniikan opinnäytetyö
Tuotekehitys
Insinööri (AMK)

KEMI 2012

TIIVISTELMÄ

KEMI-TORNION AMMATTIKORKEAKOULU

Tekijä(t):	Satta Simo
Opinnäytetyön nimi:	Kaivosten kulutusteräskohteiden kartoitus, kulumisprofiili ja materiaalivalinnat
Sivuja (+liitteitä):	54 + 4
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia Kemin kaivoksella esiintyviä kulutuskohteita ja käytössä olevia kulutusteräksiä. Lisäksi tavoitteina oli pohtia, miten käytännössä uusien materiaalien kenttätestaus suoritetaan ja kerätä oleellinen tieto kulutusteräksistä, kulumismekanismeista ja niiden tutkimisesta.</p> <p>Materiaalin kulumisen on harvoin täysin yksiselitteinen tapahtuma, koska siihen vaikuttaa moni osatekijä. Kulutusteräksistä puhuttaessa tarkoitetaan usein kaikkia teräsmateriaaleja, jotka kestävät hyvin kulutusta. Kulutusta kestäviä teräksiä on kuitenkin monentyyppisiä ja ne on suunniteltu erilaisiin kulutuskohteisiin. Kaikki kulutusteräksset eivät toimi yhtä hyvin jokaisessa kohteessa. Tämän vuoksi opinnäytetyössä selvitettiin kulutuksen kestävyys –termiä sekä esitellään joitakin kulutusteräksiä ja niiden ominaisuuksia.</p> <p>Työn aikana painotus siirtyi varsinaisesta kulutusterästen kenttätestauksesta kirjallisuusselvitykseen ja tiedon keräämiseen. Tässä opinnäytetyössä ei siksi pohdittu varsinaisia käytännön ongelmia tai tuloksia, vaan luotiin yleiskatsaus laajaan aiheeseen.</p> <p>Kulumisen määritelmä voidaan kiteyttää sen olevan materiaalin häviämistä kappaleen pinnalta. Tämän vuoksi kappaleen massa muuttuu kulumisen edetessä. Tämän pohjalta voidaan päätellä, että massan muutos on kokonaiskulumisen määrä. Tämän opinnäytetyön pohjalta suoritettavissa testeissä tullaan tarkentamaan kulutuskohteissa esiintyvät kulumisprofiilit. Tarkennettu kulumisprofiili saadaan optisesti mittaamalla kulunut kappale, jolloin sitä voidaan verrata alkuperäiseen 3D -malliin.</p>	
Asiasanat: kuluminen, kulumiskokeet, kaivostoiminta.	

ABSTRACT

KEMI-TORNIO UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Author	Satta Simo
Title:	Survey, Wear Profile and Material Selections of Wear Resistant Steels
Pages (+appendices):	54 +4
<p>The purpose of this barchelor's thesis was to study the areas in Kemi mine that are exposed to wearing and wear resistant materials. Additionally, it was studied how to conduct field tests for new wear resistant materials. Gathering vital information was also included in the objectives.</p> <p>The wearing of materials is a complicated phenomenon and it is rarely induced by only one factor. Commonly, the term wear resistant material is used about all resistant steels . However, wear resistant materials include many materials including steels, rubbers, plastics, steels and a variety of material coatings, all sharing sole purpose of reducing wearing. Wear resistant steels come with many different types and not all of them perform well in every circumstance. Due to this misconception a few types of wear resistant steels and their features are introduced in this thesis.</p> <p>The original goal to conduct wear tests in the field was put side due to the schedule and the focus of this work transferred from actual field testing to more literate work and gathering information. The actual data from field tests are not therefore presented in this thesis. This thesis is more of an overview to wearing and wear resistant materials than an exact solution to any existing problem.</p> <p>Wearing process can be simplified as a loss of material on the surface of an object. Due to this the material loss changes when wear increases. This concludes that overall wear is equal to the loss of the mass. A more accurate wearing profile can be acquired by 3D measurements. It also enables worn objects to be compared to original 3D design.</p>	
Keywords: wearing, abrasive test, mining.	

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	I
ABSTRACT.....	II
SISÄLLYSLUETTELO	III
1. JOHDANTO	2
2. YRITYSESITTELY	3
3. TEORIA	4
3.1. Kuluminen.....	4
3.2. Kulumismekanismit	5
3.2.1. Tartuntakuluminen	6
3.2.2. Hiontakuluminen.....	7
3.2.3. Väsymiskuluminen.....	8
3.2.4. Tribo -kemiallinen kuluminen.....	9
3.2.5. Eroosiokuluminen	10
3.3. Kulumismekanismin määrittelevä	11
3.4. Kulumisen esto.....	14
4. KULUTUSTERÄKSET	15
4.1. Kulutusterästen historiaa.....	17
4.2. Kulutusterästen mekaaniset ominaisuudet	18
4.3. Kulutusterästen työstäminen	19
4.3.1. Terminen leikkaus.....	19
4.3.2. Mekaaninen leikkaus.....	21
4.3.3. Hitsaaminen.....	21
4.3.4. Lastuavat työstömenetelmät	24
4.3.5. Taivutus.....	25
4.4. Kulumiskestävyyden tutkiminen.....	25
4.5. Optiset mittausjärjestelmät.....	27
4.5.1. TRITOP- Järjestelmä	28
4.5.2. ATOS -järjestelmä	28
5. KULUTUSTA KESTÄVIEN TERÄSTEN VERTAILU	31
5.1. Mangaaniteräkset	31
5.1.1. Metso XT	31
5.2. Karkaistut kulutusteräkset.....	32
5.2.1. Hardox 500 kulutuksen kestävä teräs.....	32
5.2.2. Raex 500 kulutuksen kestävä teräs	33
6. KULUTUSTERÄSKOKEILUT KOHTEISSA	33
6.1. Kulumisen seuranta.....	34
6.2. Kulumisteräskokeilun kontrollointi	36
6.3. Kulutuskohdeet Kemin kaivoksella	37
6.3.1. Nostotornin vastaanottosuppilo.....	37
6.3.2. Tärysyötin.....	38
6.3.3. Risteyskohdan purkaussuppilo.....	40
6.4. KAIVOKSISSA ESIINTYVÄT OLOSUHTEET.....	42
6.4.1. Murska.....	42
6.4.2. Kosteus.....	42

6.4.3.	Syövyttävät aineet	43
6.4.4.	Kylmyys	43
7.	JATKOTUTKIMUKSET	44
8.	YHTEENVETO JA POHDINTA	45
9.	LÄHDELUETTELO	47
10.	LIITELUETTELO	50

1. JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan kahden kulutusteräksen käyttäytymistä Outokumpu Chrome Oy:n Kemin kaivoksella valituissa kohteissa, tarkastellaan valittuja kohteita kehitysideoiden kannalta, perehdytään kulumisen teoriaan liittyviin tekijöihin ja tutustutaan pääisin puolin kulutusteräksille käytössä oleviin työstömenetelmiin. Opinnäytetyö tehtiin Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun Tekniikan TKI –yksikössä osana tammikuussa 2012 alkanutta MineSteel -projektia. Projektiin osallistuu ammattikorkeakoulun lisäksi useita yrityksiä tekniikan alalta, kuten terästen toimittajia, konepajoja ja loppukäyttäjiä.

Tutkimuksen tarkoituksena on monipuolistaa kulutusterästen käytettävyyttä, joten tässä opinnäytetyössä käsitellään erityisesti kulutusterästen kenttätestaukseen liittyviä käytäntöjä. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutustuttaa kenttätestien parissa toimiva mahdollisesti ennalta aiheeseen perehtymätön tutkija yleisiin kulutusta kestävien teräksien mekaanisiin ominaisuuksiin, kulumisen teoriaan, testausmenetelmiin sekä eräisiin kulutusteräskohteisiin Kemin kaivoksella.

Työ suoritettiin suurimmaksi osaksi Kemi- Tornion ammattikorkeakoulun TKI –yksikössä. Painopisteeltään työ on koottu kirjallisuusselvitys. Tämän tutkimuksen pohjalta suoritettavissa kenttätesteissä tullaan keräämään tietoa kriittisimmistä kulutusteräskohteista ja niiden kulumisprofiileista.

2. YRITYSESITTELY

Tässä kappaleessa esitellään opinnäytetyöhön liittyvää Case yritystä, Outokumpu Chrome Oy:n Kemin kaivosta, jossa varsinaiset kulutusterästestit suoritetaan. Kemin kaivos ja Tornion ferrokromitehdas muodostavat Outokumpu Chrome Oy:n, joka on osa Outokumpu konsernia (Vuolukka 2009, 1). Kemin kaivoksen johtajana toimii Antti Pihko.

Outokumpu Chrome Oy:n kaivos sijaitsee Elijärvellä Kemissä. Kaivoksen esiintymä löydettiin 1959 ja louhinta Kemin kaivoksella alkoi vuonna 1968 avolouhoksena (Outokumpu Tornio Works – Kemin kaivos 2007, 2). Maanalainen louhinta kaivoksella aloitettiin vuonna 2002, jolloin malmia louhittiin samanaikaisesti sekä maanalaisesti että avolouhoksena. Vuoteen 2005 mennessä avolouhinta lopetettiin kokonaan, minkä jälkeen louhostoiminta on jatkunut pelkästään maanalaisena. (Vuolukka 2011.) Kemin kaivos on ainoa kromikaivos EU- alueella.

Outokumpu Chrome Oy:n lopputuotteita ovat ferrokromi, CO-kaasu ja kuonapohjaiset kiviainekset. Kemin kromikaivoksella tuotetaan kromiittirikasteita (pala- ja hienorikastetta) Tornion ferrokromitehtaan käyttöön (Vuolukka 2009, 1). Kaivoksen päätuote on kromimalmi, jonka Cr_2O_3 -pitoisuus palarikasteena on 35 – 36 %. Hienorikasteen Cr_2O_3 -pitoisuus on noin 44 – 45 %. Kemin kaivos tuottaa rikastetta ainoastaan Tornion ferrokromitehtaan käyttöön, eikä rikasteita myydä ulkopuolisille yrityksille. (Vuolukka 2009, 1.)

Todetut malmivarannot kaivoksella ovat 37 miljoona tonnia. Tämän lisäksi mineraalivarannot ovat 87 miljoonaa tonnia. (Vuolukka 2011, 11). Arvioiden mukaan kaivoksen malmivarannot ovat huomattavasti suuremmat ja toiminnan arvellaan jatkuvan ainakin seuraavat 10 vuotta eteenpäin. Vuoden 2013 aikana valmistuva F3 - laajennusprojekti tulee kaksinkertaistamaan sekä Kemin kaivoksen että Tornion ferrokromitehtaan vuotuisen tuotantomäärän. (Pihko 2010, 33.)

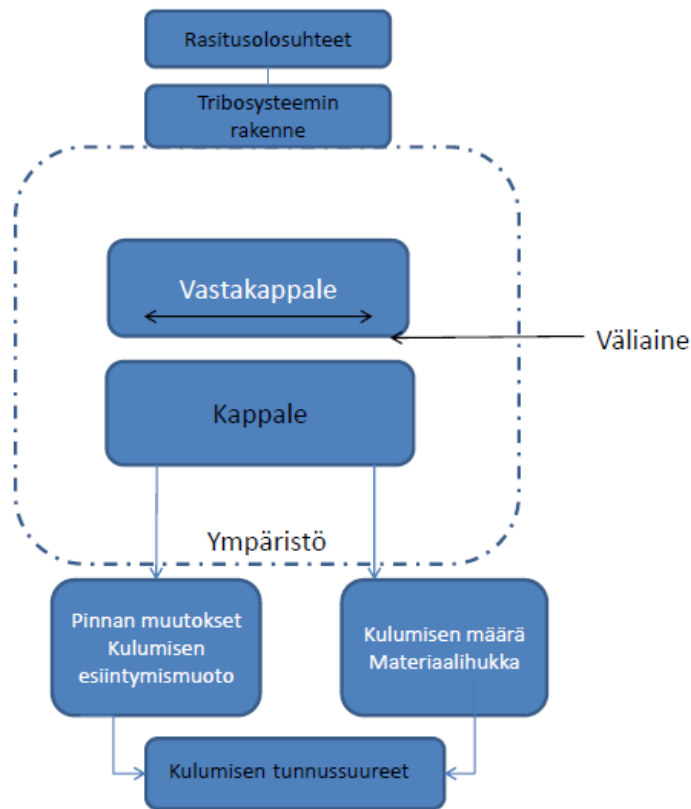
3. TEORIA

Kuluminen on monimutkainen tapahtuma ja siihen liittyy lukuisia erilaisia osatekijöitä. Tässä kappaleessa esitellään keskeisimpiä havaintoja erilaisista kulumiseen liittyvistä lainalaisuuksista.

3.1. Kuluminen

Yleisesti kuluminen on materiaalin häviämistä kappaleen pinnalta. Kulumiselle löydetään harvoin vain yksi tekijä. Sen sijaan kulumistapahtumalla on usein monia osatekijöitä. Voidaan kuitenkin sanoa, että se on useimmiten seurausta toisiinsa nähden liikkuvien pintojen vuorovaikutuksesta. Monesti kulumisilmiöstä on löydettävissä yksi, eniten vaikuttava, päämekanismi ja sen hillitseminen vähentää kokonaiskulumista ajan suhteen. Yleensä kulumistapahtuma mielletään haitalliseksi tapahtumaksi, mutta eräissä työmenetelmissä ilmiötä käytetään hyväksi, esimerkiksi hiovassa työstössä. Ajan myötä kuluminen voi aiheuttaa laitteissa ja työkaluissa toimintakyvyn heikkenemistä tai suoranaista vioittumista. (Kivioja 1997, 97; Koivisto 2001, 27; Sundqvist 1986, 132.)

Kuluminen riippuu täysin kuluvan ja kuluttavan pinnan keskinäisestä vaikutuksesta. Tämä muodosta tribologisen systeemin kulutusilmiöön, jossa vaikuttavina tekijöinä ovat kuormitus, liike, materiaalien ominaisuudet, osien geometria, pinnankarheus, lämpötila ja ympäristötekijät. (Koivisto 2001, 27.)



Kuva 1. Kulumiseen vaikuttavia tekijöitä.

Kulumisen ei ole yksiselitteinen ilmiö, eikä sitä näin ollen ole pystytty täysin määrittelemään. Kulutustapahtumaan vaikuttavia tekijöitä on useita (Kuva 1) ja niiden samanaikainen hallinta tutkimuksissa on vaikeaa. Vaikka kulumisesta on kehitetty erilaisia teorioita, ei niiden paikkansapitävyydestä ja soveltuvuudesta olla yksimielisiä. (Kivioja 1997, 97.)

Yleisesti voidaan sanoa kulumisen olevan riippuvainen materiaalin mekaanisista ominaisuuksista, joista tärkeimmät ovat kovuus ja liukuominaisuudet (Koivisto 2001, 11).

3.2. Kulumismekanismit

Kulumisen voidaan luokitella kuuteen eri ryhmään kulumista aiheuttavan liikkeen mukaan:

- liukuminen
- vierintä

- iskukuormitus
- värähtely
- nestevirtaus
- nestevirtaus, jossa on kiinteitä partikkeleita.

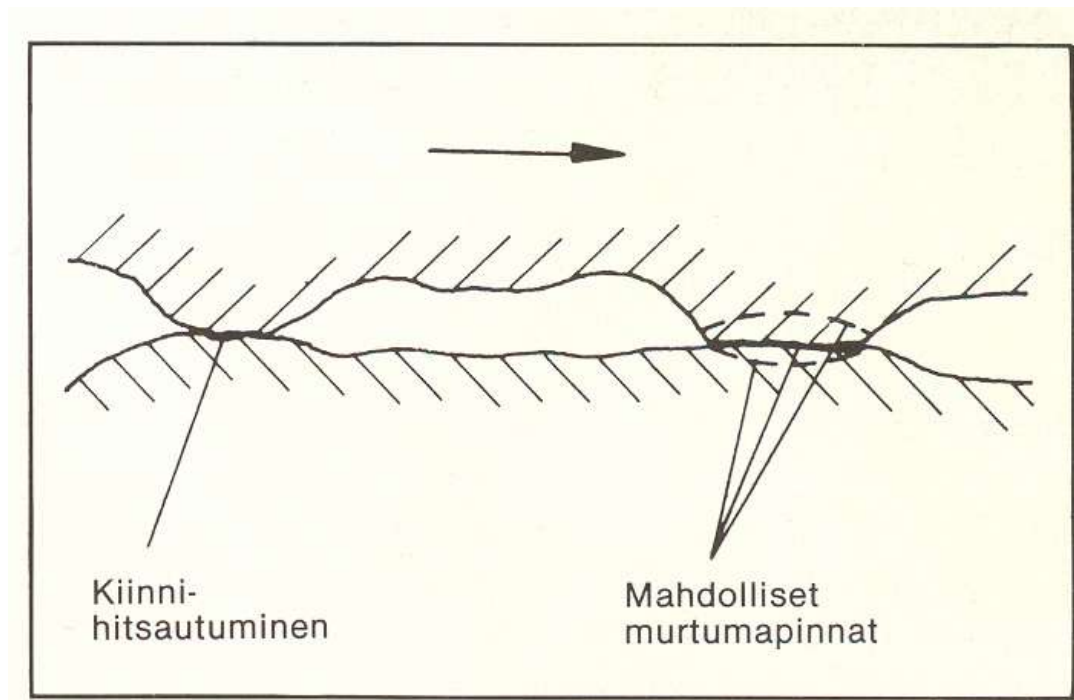
Varsinaisia kulutusmekanismeja ovat:

- pinnan väsyminen
- abraasio
- adheesio
- tribo -kemialliset prosessit.

3.2.1. Tartuntakuluminen

Tartuntakuluminen eli adhessiivinen kuluminen on toisiaan vasten pyörivien tai laahaavien kappaleiden kulumista, esimerkiksi akseli laakeripintoja vasten. (ESAB korjauskäsikirja 2002, 3.) Tartuntakuluminen syntyy, kun kaksi toisiinsa nähden liukuvaa pintaa tarttuvat hetkellisesti yhteen (kylmähitsautuminen) ja leikkautuvat irti kosketuspinnosta kuvassa 2 esitetyn periaatteen mukaisesti. (Kivioja 1997, 105.)

Tartuntakulumiskestävyyttä vaativissa kohteissa voidaan käyttää niukkaseosteisia martensiittisiä teräksiä ja austeniittisiä ruostumattomia teräksiä. Lisäksi Kobolttiseosteisia teräksiä suositellaan käytettäväksi silloin, kun kohde altistuu korkeisiin lämpötiloihin ja hapettaviin olosuhteisiin. Samankovuuksisten pintojen kosketus suurentaa tartuntakulumisen riskiä, joten materiaalit tulisi valita siten, että niiden kovuudet poikkeavat toisistaan. (ESAB korjauskäsikirja 2002, 3.)



Kuva 2. Tartuntakulumisen periaate (Mäkinen 2003, 16).

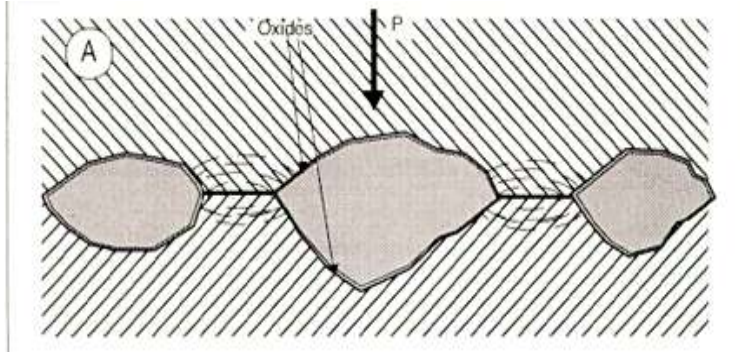
3.2.2. Hiontakuluminen

Hiontakuluminen eli abrassiivinen kuluminen on teollisuudessa yleisin kulumismekanismi (Koivisto 2001, 27.). Se johtuu terävien ja kovien partikkeleiden liukumisesta tai virtaamisesta metallipinnan yli vaihtelevalla nopeudella ja paineella. Samalla partikkelit lastuavat materiaalia pienten leikkausterien kaltaisesti. Mitä kovempi ja terävämpi partikkeli on, sitä voimakkaampi on kuluminen. Abraasiota esiintyy mm. kaivuutyössä, mineraalien siirrossa ja maatalouskoneissa. (Koivisto 2001, 27; Kivioja 1997, 109.)

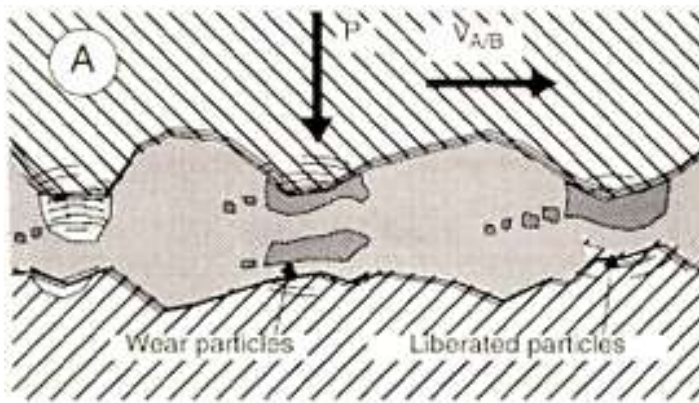
Kuluminen voi tapahtua hioutumalla, leikkautumalla tai hauraasti murtumalla. Kuluminen tapahtuu kovemman pinnan liukuessa pehmeämpää vasten. Tällöin kovemman pinnan pinnankarheuden huiput kuluttavat pehmeämpää pintaa (kuva 3). Sama tapahtuu, kun kahden toisiaan vasten liukuvan pinnan välissä on kovempaa materiaalia (kuva 4). (Koivisto 2001, 27; Kivioja 1997, 109.)

Hiontakulumiskestävyyttä voidaan lisätä käyttämällä suhteellisen hauraita materiaaleja, jos iskumaista räsitusta ei esiinny. Erilaiset kromirautaseokset, karbideja sisältävä seokset ja

keraamiset tuotteet soveltuvat hyvin abraasiokulumisen ehkäisyyn. (ESAB korjauskäsikirja 2002, 4.)



Kuva 3. Hiontakuluminen kahden toisiaan vasten liukuvan pinnan seurauksena (Verlinden 1997.)

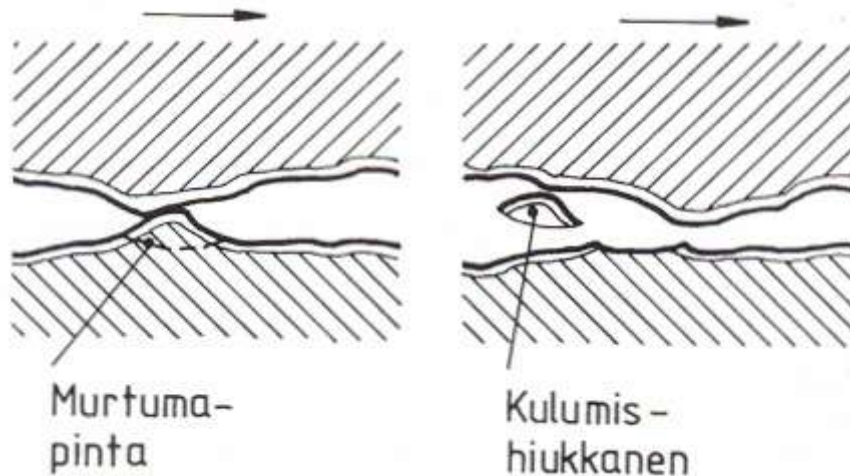


Kuva 4. Hiontakuluminen kahden toisiaan vasten liukuvan pinnan ja niiden välissä olevien kovempien partikkelien seurauksena (Verlinden 1997.)

3.2.3. Väsymiskuluminen

Väsymiskuluminen aiheutuu kosketuspintojen väsymisrasituksesta, jossa kulumishiukkanen syntyy väsymismurtuman seurauksena. Lähes kaikessa kosketuksessa tapahtuu plastista muodonmuutosta ja kun yksi kohta materiaalista muuttuu muotoaan tarpeeksi usein, tapahtuu ns. väsymisilmiö, jolloin väsymismurtunut kohta irtaantuu kappaleen pinnasta (kuva 5). Väsymismurtuman tapahtumiseen ei välttämättä tarvita plastista muodonmuutosta, vaan väsyminen voi tapahtua myös pintakerroksessa. Tämä on seurausta dynaamisen kuormituksen aiheuttamasta dislokaatioiden kasaantumisesta. (Sundquist,

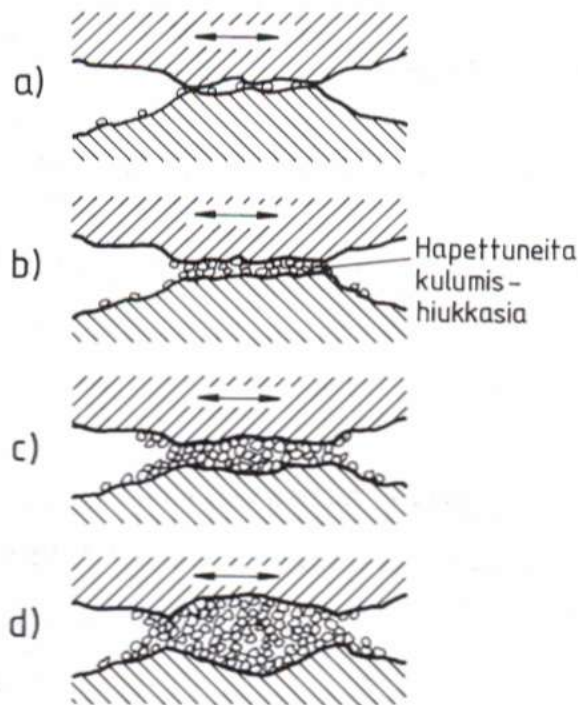
1986, 167.) Väsymiskuluminen vaatii vaihtuvaa ja pitkäaikaista kuormitusta sekä alkusärön. (Kunnossapitokoulu 2005, 4.) Iskumaiset rasitukset lisäävät myös väsymiskulumisen todennäköisyyttä. (ESAB korjauskäsikirja 2002, 3.)



Kuva 5. Väsymiskulumisen periaate (Koivisto 2001, 28).

3.2.4. Tribo -kemiallinen kuluminen

Tribo -kemiallinen kuluminen tapahtuu pääasiassa kosketuspintojen pintakalvoissa. Se tapahtuu kosketuspintojen reagoidessa keskenään liikkeen seurauksena. Reaktiotuotekerros, yleensä oksidikerros, rikkoutuu ja materiaalien pinnat altistuvat kemiallisille reaktioille (kuva 6). Yleensä materiaalit reagoivat ympäristön kanssa eli hapettuvat tai reagoivat voiteluaineiden kanssa. Tyypillistä on myös korroosion ilmeneminen ja sen kautta tapahtuva painohäviö (Koivisto 2001, 27.). Kuluminen on tyypillisesti vähäistä, sillä varsinainen metallipinta kuluu vain sen muodostaessa pintakalvoa, teräksen tapauksessa oksidikerrosta. (Kunnossapitokoulu 2005, 3.)

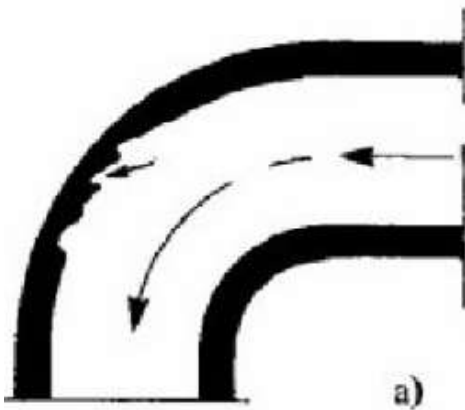


Kuva 6. Tribo- kemiallisen kulumisen periaate (Sundquist 1986, 28).

3.2.5. Eroosiokuluminen

Eroosiokuluminen on tulos hiukkasten (kiinteä, kaasu tai neste) aiheuttamasta painohäviöstä, jossa nopeasti liikkuvat partikkelit törmäävät perusaineeseen ottaen mukaansa pieniä partikkeleja perusaineesta (kuva 7). Liikkuvassa nesteessä tai kaasussa olevat partikkelit aiheuttavat materiaalin irtoamista pinnasta. Partikkelien törmäyskulma vaikuttaa kulumiseen siten, että materiaali voi joutua joko iskevän, leikkaavan tai jauhavan kulutuksen kohteeksi. Eroosion voimakkuuteen vaikuttavat virtausnopeus, partikkelien kovuus, koko ja muoto sekä materiaalin ominaisuudet. (Parikka & Lehtonen 2000, 12.)

Eroosiokulumista voidaan käyttää myös hyväksi erilaisissa pinnantööstömenetelmissä, kuten hiekkapuhalluksessa.

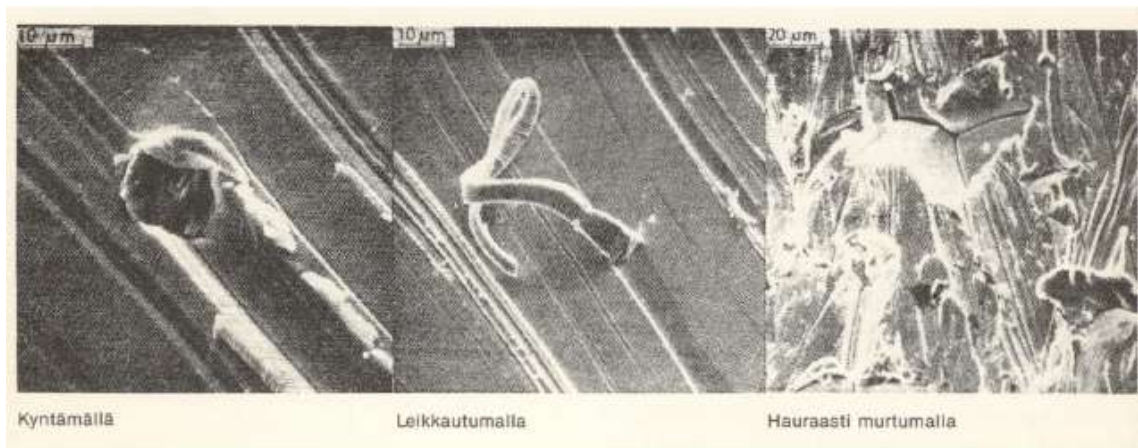


Kuva 7. Eroosiokulumisen periaate. (Bardal & Drugli 2004, 19).

3.3. Kulumismekanismin määrittäminen

Kun valitaan sopivaa kulutusmateriaalia käyttökohteeseen, on otettava huomioon ympäristöolosuhteet. Koska kulumiseen vaikuttavat lähes aina useat mekanismit ja olosuhteet, on pyrittävä löytämään eniten kulumista aiheuttava tekijä. Parhaiten tarkasteluun sopii silmämääräinen tarkastelu, jossa on kyettävä tunnistamaan kulutusmekanismien ominaispiirteet. (Sundquist 1986, 292.) Toisinaan voi olla tarpeellista tarkastella kulutuspinoja tarkemmin, esimerkiksi kulutushiukkasanalyysillä. Joissakin olosuhteissa tämän tasoisen tarkastelun suorittaminen voi kuitenkin olla vaikeaa, ellei mahdotonta tuotantoprosessista johtuen.

Abrasiivisen kulumisen seurauksena materiaalin pinnassa on havaittavissa kyntämällä tai lastuamalla syntyneitä naarmuja, uria ja uurteita (kuva 8). Kovilla materiaaleilla voi esiintyä myös murtumissäröjä. Kulumistuotteina voi olla lastuja tai hauraasti murtuneita partikkeleja. (Mäkinen 2003, 18.)



Kuva 8. Hiontakuluminen mikroskoopilla tarkasteltuna (Materiaalinvalinta – Kulumista kestävät materiaalit ja pinnoitteet 1986, 4).

Adhessiivisen kulumisen kulutuspinnoissa on havaittavissa sitkeän murtuman jälkiä. Näitä voivat olla esimerkiksi kartio- ja suomumaiset ulokkeet ja kuopat (kuva 9). Kulumistuotteita ovat tyypillisesti lastut ja materiaalin siirtymät pinnasta toiseen. (Mäkinen 2003, 18.)



Kuva 9. Adhessiivisen kulumisen aiheuttama vaurio (Norton 2002).

Tribo- kemiallisen kulumisen seurauksena pinnoissa esiintyy reaktiotuotteita, kuten kalvoja ja hiukkasia (kuva 10). Materiaalien pinnat voivat olla myös kirkkaita ja tiiviitä. (Mäkinen 2003, 19.)



Kuva 10. Tribo -kemiallisen kulumisen aiheuttama vaurio (Oerlikon).

Väsymiskulumisen seurauksena pintaan muodostuu kuoppia ja kuluminen tapahtuu äkillisesti. Liukupinnoilla irttaa tavallisesti kiiltävää metallihilsettä. Pinnoissa on murtumia ja pisaran muotoisia kuoppia (kuva 11). (Mäkinen 2003, 19.)



Kuva 11. Väsymiskulumisen aiheuttama vaurio (Dwivedi 2009)

3.4. Kulumisen esto

Kulutusta pyritään vähentämään eri tavoilla. Kulutuksen vähentämiseksi yleisiä keinoja ovat voitelu ja suunnittelussa geometrian valinta. Usein ei kuitenkaan voida tai ei ole kannattavaa järjestää voitelua kulutusalttiiseen kohtaan. Tällöin yleensä päädytään käyttämään erityisiä kulutuskestäviä materiaaleja. Kulutusta kestävien materiaalien käyttö on erityisesti kaivosteollisuudessa varsin yleistä. Tyypillisiä käyttökohteita ovat lastauskoneiden kauhojen, malmin kuljetuksen dumppereiden lavojen, kuljetuskourujen, suppiloiden, syklonien, syöttimien, seulojen ja murskainten suurelle kulutukselle alttiina olevat osat. Yleisimmin käytettyjä kulutusmateriaaleja ovat erilaiset kulutusteräksset. Kulutusmateriaaleja ovat myös erilaiset keraamiset kulutusmateriaalit sekä erikoismassat, mutta niiden käyttö kaivosteollisuudessa on melko vähäistä. Kulutuskumia käytetään yleisesti seulaverkkoina, rikastamalla lietepumppujen ja myllyjen vuorauksessa sekä liikkuvan kaluston, kuten dumppereiden lavan vuorauksessa. (Hakapää & Lappalainen 2008, 340–341.)

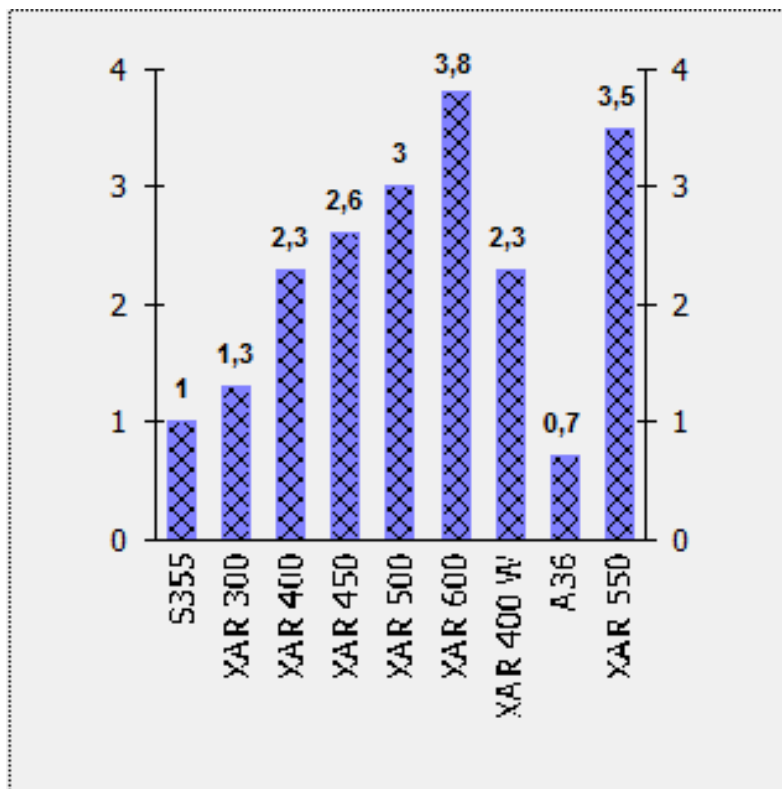
Kulumisen aiheuttaa materiaalissa massahäviötä, eli materiaalin vahvuus heikkenee. Tämä aiheuttaa kustannuksia sekä materiaalin hankinnassa että kunnossapidossa. Materiaalikustannukset aiheutuvat uuden osan hankinnasta kuluneen tilalle. Vastaavasti kunnossapidolliset kustannukset aiheutuvat hankitun osan asentamisesta kohteeseen ja siitä mahdollisesti aiheutuvasta tuotannon pysäyttämisestä. Näitä kustannuksia pyritään hillitsemään suunnittelun ja erilaisten kulutusta kestävien materiaalien kehittämisen keinoin, esimerkiksi ns. kulutusterästen kehittäminen. Eräs hyvin toimiva ratkaisu kulumisesta aiheutuvien kustannusten pienentämiseen on niin sanottu autogeenivuoraus. (Hakapää & Lappalainen, 2008 340–341.)

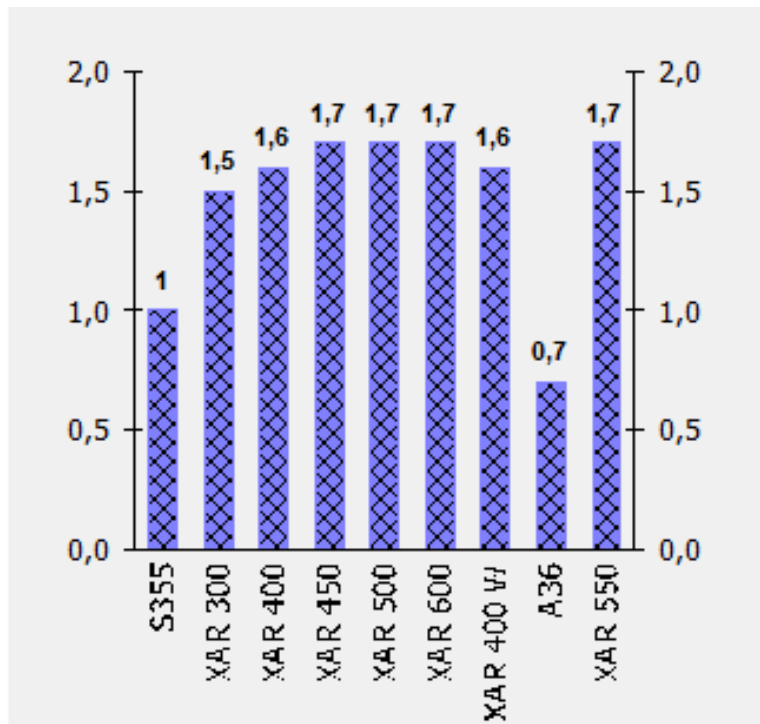
Autogeenivuorauksessa prosessissa käsiteltävä materiaali itsessään muodostaa kulutusta kestävä suojan. (Hakapää & Lappalainen 2008, 340–341). Esimerkiksi erilaisten siilojen pohjalle voidaan tarkoituksellisesti jättää jonkin verran murskaa, jolloin siilon pohjalle putoava murska osuu ennestään pohjalla olevien päälle, eikä näin ollen kuluta juurikaan siilon teräsrakenteita, vaan suurin kulutus kohdistuu itse murskaan. Autogeenivuorauksen käyttö ei kuitenkaan ole mahdollista kaikissa olosuhteissa. (Hakapää & Lappalainen 2008, 340–341). Tällöin joudutaan käyttämään varsinaisia kulutuksen kestäviä materiaaleja.

4. KULUTUSTERÄKSET

Kulutusteräket ovat teräksiä, jotka on suunniteltu vastaamaan käyttäjien ja suunnittelijoiden vaatimuksia teräksille, joilla voidaan toteuttaa kevyempiä, lujempia ja paremmin kulutusta kestäviä rakenteita. Nimensä mukaisesti ne kestävät normaaleja rakenneteräksiä huomattavasti paremmin kulutusta. (Liimatainen & Sipilä 2010, 7). Kuvaajissa 1 ja 2 on esitetty muutamien kulutusterästen kesto tavalliseen S355 rakenneteräkseen verrattuna.

Kuvaaja 1. Kulutusterästen kesto S355:n verrattuna. Kuluttavana materiaalina kvartsi ja kulutusmekanisminä abrassiivinen kulutus.





Kuvaaja 2. Kulutusterästen kesto S355:n verrattuna, kuluttava materiaali kvartsia ja kulutustapahtumana iskumainen kulutus.

Kulutusteräksiä käytetään:

- vähentämään omapainoa
- lisäämään kulutuksen kestävyyttä
- vähentämään iskujen ja töytäisyjen vaikutusta
- vähentämään pintavaurioita.

Kulutusteräksiä käytetään kohteissa, joissa tavanomaisten rakenneteräksien kulutuksen kestävyys ei riitä olosuhteiden vuoksi. Tällaisia kulutusterästen käyttökohteita ovat rakenteet, jotka altistuvat kuluttavalle materiaalivirrälle, kuten maa-, kivi- ja sora-aineille, tai muulle hankaavalle kulutukselle mm. kivilouhoksissa, kaivoksissa, sorakuopissa ja raskaassa prosessiteollisuudessa. Yleisimpiä käyttökohteita ovat kuormaajien ja maansiirtokoneiden kauhat ja huulilevyt, dumpperien ja kuorma-autojen lavat, murskaimet,

kuljettimet, aurat, betonisekoittimet, seulat, suppilot, kourut, ruuvikuljettimet jne. (Liimatainen & Sipilä 2010, 7.)

Kulutusteräksiä voidaan käyttää myös työkaluissa ja niiden leikkaavissa terissä sekä erilaisissa suojarakenteissa (ovet ja lukituslaitteet). Kulutusterästen käyttöä sovelletaan jatkuvasti ja niinpä uusia käyttökohteita kulutusteräksille löytyy koko ajan. (Liimatainen & Sipilä 2010, 7.)

4.1. Kulutusterästen historiaa

Aikaisemmin kulutusterästen ominaisuudet perustuivat runsaaseen seostukseen ja monesti kulutusosat valmistettiin valamalla. Kuitenkin seostaminen ja valaminen on kallista, minkä takia syntyi tarve valmistaa kulutusteräksiä halvemmalla. Boorilla seostamisen hyvät karkenevuusominaisuudet on tiedostettu jo varsin pitkään. Tiedon hyödyntäminen alkoi vasta, kun menetelmät kehittyivät siten, että ongelmat kaasujen ja kuonan hallinnassa sulametallurgiassa saatiin kontrolliin. Lopulta analyysilaitteet ja prosessin hallinta kehittyivät siten, että varsinaisia booriteräksiä kyettiin valmistamaan. (Liimatainen & Sipilä 2010, 8.)

Karkaistujen kulutusterästen valmistus aloitettiin 1980-luvun alussa. Aluksi kulutusteräksiä tehtiin lapioihin ja auran siipiin. Myöhemmin aloitettiin kvarttolevyjen karkaisu, minkä seurauksena mitta-alue laajeni aina 40–50 milliin asti. (Liimatainen & Sipilä 2010, 8.)

Uusien tuotantomenetelmien ansiosta saavutettiin matalalla hiilipitoisuudella ja pienellä määrällä muita seosaineita varsin suuri kovuus, läpikarkenevuus ja kulutuksenkestävyys. Tämä alensi loppukäyttäjän kustannuksia aikaisempiin menetelmiin verrattuna huomattavasti. Samaan aikaan myös hitsausmenetelmät kehittyivät, jolloin uusien kulutusmateriaalien käytettävyys parani. (Liimatainen & Sipilä 2010, 9.)

Käyttämällä nykyisiä kulutusteräksiä erilaisissa työkoneissa ja laitteissa voidaan käytettävyyttä parantaa merkittävästi, sillä osista saadaan aikaisempaa lujempia ja kevyempiä. Tämä johtaa siihen, että rakenteissa voidaan saavuttaa sama kestävyys

pienemmällä ainevahvuudella, jolloin käyttökustannukset pienenevät esimerkiksi polttoainekustannusten laskun myötä. (Liimatainen & Sipilä 2010, 9.)

Kulutusteräket omaavat myös tyypillisesti hyvän lujuuden, minkä takia niitä käytetään usein myös nostoapulaitteissa, merikonttien kiinnikkeissä ja lukituslaitteissa, vaikka varsinaisesti kulutuksenkestävyydellä ei näissä sovelluksissa ole suurta merkitystä. (Liimatainen & Sipilä 2010, 10.)

Arvioiden mukaan kulutuskestävien terästen käyttö tulee jopa kaksinkertaistumaan lähivuosien aikana (Kömi 2012).

4.2. Kulutusterästen mekaaniset ominaisuudet

Kulutusteräket ovat tyypillisesti erittäin kovia ja niiden murtolujuus ylittää rakenneterästen vastaavat arvot moninkertaisesti. Kulutusterästen korkea lujuus ja kovuus saadaan aikaan karkaisulla, mikä tapahtuu hehkuttamalla terästä austeniittialueella ja sen jälkeen tehtävällä nopealla sammutuksella. Sammutus voidaan tehdä veteen, öljyyn tai synteettiseen karkaisunesteeseen, jolloin saadaan luja, mutta myös suhteellisen sitkeä martensiittinen mikrorakenne. (Liimatainen & Sipilä 2010, 12.)

Pelkästään kuumavalssatun kulutusteräksen (ei karkaistu) mekaaniset ominaisuudet ovat hyvin lähellä S355 rakenneterästen ominaisuuksia. Ainostaan kovuus ja lujuus ovat hieman parempia kuumavalssatuilla rakenneteräksillä. Toisaalta sitkeys on hieman heikompi seostuksesta johtuen. (Liimatainen & Sipilä 2010, 12.)

Kuumavalssatun kulutusteräksen muokkauslujittumiskyky on samaa luokkaa kuin ferriittis-perliittisellä teräksellä ja karkaistuna muokkauslujittumista ei tapahdu merkittävässä määrin.

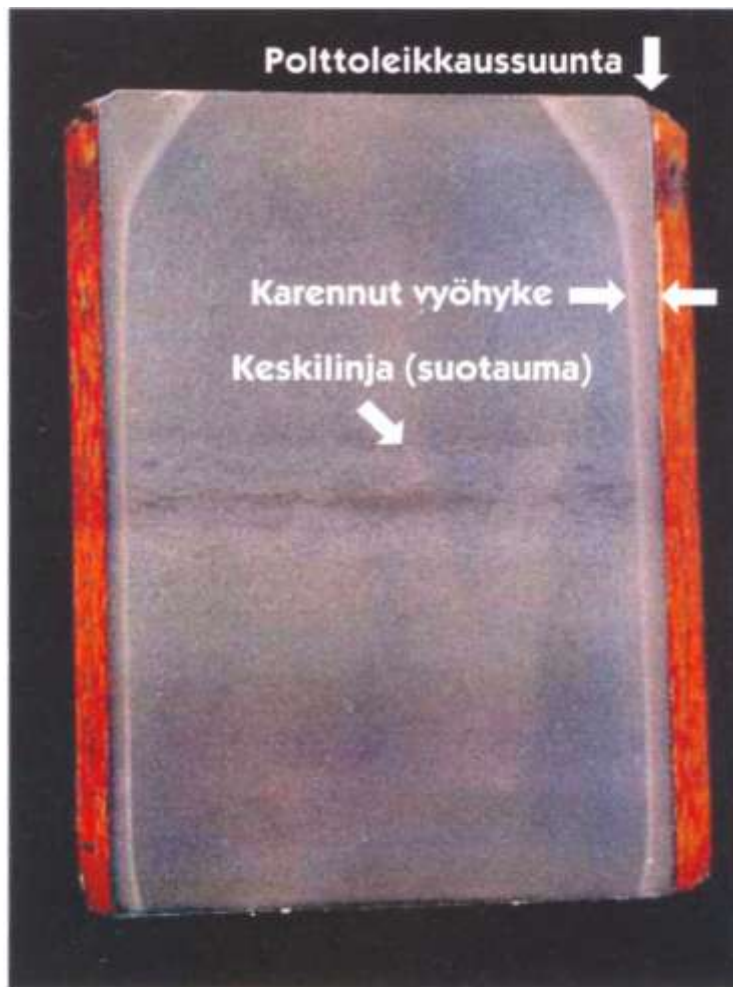
Tarvittaessa kulutusteräket on palautettavissa pehmeään tilaan normalisointi- ja pehmennyshehkutuksella. Oikein suoritettuna uudelleenkarkaisu ei huononna niiden ominaisuuksia. (Liimatainen & Sipilä 2010, 12.)

4.3. Kulutusterästen työstäminen

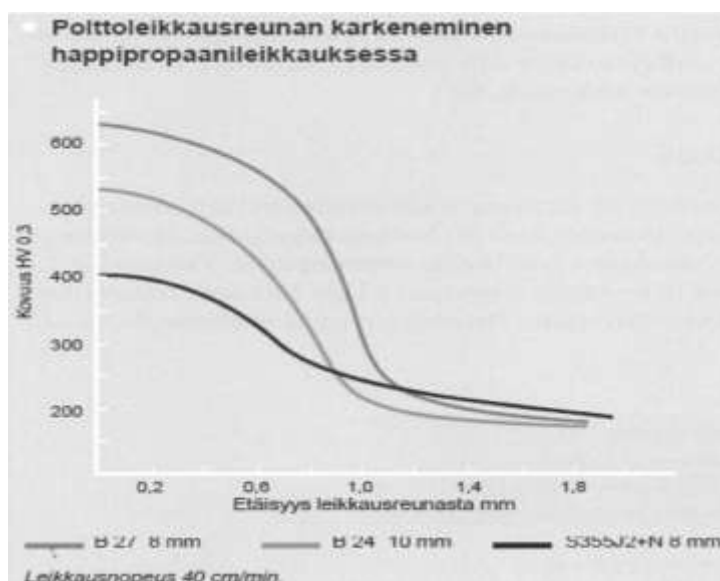
Kulutusteräksille voidaan käyttää yleisimpiä konepajateollisuuden työstömenetelmiä, kuten hitsaus, leikkaus ja lastuamismenetelmiä, kunhan materiaalien kovuus, lujuus ja sitkeys otetaan huomioon. Erilaisille työstömenetelmille on yleensä saatavilla materiaalin valmistajalta työstöarvot menetelmän oikeaan suoritukseen.

4.3.1. Terminen leikkaus

Termisessä leikkauksessa, joista käytetyimpiä ovat poltto-, laser- ja plasmaleikkaus, on huomioitava esilämmitys. Yleisenä ohjeena on, että materiaalia ei saa ottaa kylmästä, alle 10°C lämpötilasta, suoraan termiseen leikkaukseen (Liimatainen & Sipilä 2010, 52). Myös liiallista lämmöntuontia on varottava, sillä vaarana on materiaalin kovuuden heikentyminen päästön seurauksena. Ohuille materiaaleille suositellaan käytettäväksi laser- tai plasmaleikkausta polttoleikkauksen sijaan, sillä näissä menetelmissä lämmölle altistunut alue on pienempi kuin polttoleikatessa. (Rissanen 2011, 11.) Kuvassa 12 nähdään levyyn polttoleikatun levyn reunoihin syntynyt lämmölle altistunut alue. Lämmölle altistunut alue voi aiheuttaa ongelmia liiallisen karkenevuuden vuoksi. Karkenevuus polttoleikkauksen reunasta on esitetty kuvassa 13. (Rissanen 2011, 14.) Lämmön tuonti on voimakkaampaa polttoleikkauksen aloituksessa, kuin työn edetessä, joten myös muokkautunut alue on tällöin leveämpi. Myös jäähdytysnopeus kannatta ottaa huomioon siten, että jäähtymistä ei pidä nopeuttaa, vaan pikemminkin hidastaa eristämällä lämminnyt alue (kuva 14). (Liimatainen & Sipilä 2010, 52).



Kuva 12. Polttoleikkauksessa lämmölle altistunut alue (Liimatainen & Sipilä 2010, 54).



Kuva 13. Polttoleikkausreunan karkeneminen (Rissanen 2011, 14).

4.3.2. Mekaaninen leikkaus

Mekaaninen leikkaus soveltuu pääsääntöisesti kulutusteräksille parhaiten sen alhaisten lämpövaikutusten vuoksi, mutta samalla se asettaa korkeat vaatimukset leikkauskoneille. Koneiden on oltava riittävän järeitä ja leikkausterän kovuus on otettava huomioon. Tärkeimpiä parametreja saksimaisilla leikkauskoneilla ovat leikkausväli ja – kulma. Pääsääntönä on, että yli 10mm:n levynpaksuuksille ei suositella mekaanista leikkausta. Lisäksi kulutuskestävien terästen kovuus aiheuttaa leikkausjäljen epätasaisuutta, jolloin halkeiluriski suurenee. Vesileikkausta pidetään yleisesti kulutusteräksille parhaimpana vaihtoehtona sen jättämän hienon leikkausjäljen ja vähäisen lämpövaikutuksen vuoksi (Liimatainen & Sipilä 2010, 20.)

4.3.3. Hitsaaminen

Kulutusteräokset ovat hyvin hitsattavia kaikilla menetelmillä, mutta niiden hitsauksessa täytyy ottaa huomioon samat lämmön aiheuttamat vaikutukset kuin termisessä leikkauksessa. Lämmöntonnnin lisäksi huomiota tulee kiinnittää hitsauslisäaineen valintaan ja railon valmistukseen. (Rissanen 2011, 23.)



Kuva 14. Hitsauksen jälkeinen hidastettu jäähdytys, jossa kauha on eristetty lasivillalla (Liimatainen & Sipilä 2010, 54).

Kulutusteräksiä voidaan kaaritapitushitsata (Kuva 15) ja monissa tapauksissa se on käytännöllisempi kuin tavalliset hitsaus- ja pulttiliitosmenetelmät. Tämä pätee varsinkin silloin, kun hitsattavan kappaleen rasitus on staattista. Kaaritapitus tulee suorittaa kuivalle ja hyvin puhdistetulle, maalaamattomalle pinnalle. Kaaritapitushitsauksessa tulee kiinnittää huomiota hitsauslaitteiden oikeisiin asetuksiin hyvän liitoksen aikaansaamiseksi (kuva 16). Silmämääräisesti tarkastettuna liitos voi näyttää hyvältä, vaikka hitsi olisi löysästi kiinni. Tämän tyyppisen liitosvirheen syynä on useimmiten hitsausvirran tai tunkeuman riittämättömyys. Tämän vuoksi kaaritapitus hitsaukselle oikeiden asetusten löytämiseksi tulee suorittaa kuvan 17 mukainen taivutustesti. Paksujen levyjen esilämmitystarve on otettava myös huomioon, mutta se on hieman pienempi kuin polttoleikkauksessa ja tavallisessa hitsauksessa. 400- kovuusluokan levyille suositellaan 100°C:een ja 500 luokan kovuuksille 150°C:een esilämmitystä. Kaaritapituksessa esilämmityksen lisäksi on kiinnitettävä huomiota myös virran tuontiin, sillä varsinkin ohuet tapit pyrkivät sulamaan liikaa. Yleisesti ottaen kaaritapitettu kohta kestää kulutusta kierrepulttia ja uppokantaruuvia paremmin. (Sipilä, Liimatainen, 2010, 60.)

Kaaritapitusmenetelmän parempi kulutuksen kestävyys johtuu siitä, että kaaritapituksessa ei levyn toiselle puolelle jää koneistettuja jälkiä, vaan sileä, muuttumaton pinta. Lisäksi lämpövaikutukset ovat rajalliset tällä menetelmällä.



Kuva 15. Kaaritapitushitsausta (Sipilä, Liimatainen, 2010, 60).



Kuva 16. Hyvin onnistunut kaaritapitus (Liimatainen & Sipilä 2010, 61).



Kuva 17. Kaaritapitushitsauksen taivutustesti (Trillmich, 2009, 10).

4.3.4. Lastuavat työstömenetelmät

Kulutusterästen lastuamisessa, kuten porauksessa, sorvauksessa ja jysinnässä pääsääntönä on se, että kulutusteräket tulisi koneistaa ennen karkaisua, jolloin materiaali on

helpommin työstettävissä. Karkaisun jälkeen kulutuksenkestäviä voidaan toki koneistaa, mutta suurella todennäköisyydellä työkalujen käyttöikä lyhenee tällöin huomattavasti. Lisäksi työnopeutta voidaan joutua laskemaan jonkin verran laitteistosta riippuen. (Liimatainen & Sipilä 2010, 54.)

4.3.5. Taivutus

Kulutusterästen taivutuksessa on otettava suuri takaisinjousto. Suositeltavaa on, että kulutusterästen taivutus tehdään yhdellä taivutuksella monivaiheisen taivutuksen sijasta. Kulutusteräksillä on myös huomattavan suuri myötölujuus, jolloin vaadittavat voimat ovat suuria. Tästä aiheutuu myös turvallisuusriskejä, sillä teräksen murtuessa kappaleita voi lentää pitkälle ja niiden nopeudet voivat olla suuria. Levyjen ollessa yli 20 mm paksuja kannatta materiaali esilämmittää. Kulutuslevyjen taivutussuunta tulee myös ottaa huomioon, ne suositellaan taivutettavaksi valssaussuuntaan nähden poikittain. (Rissanen 2011, 20.)

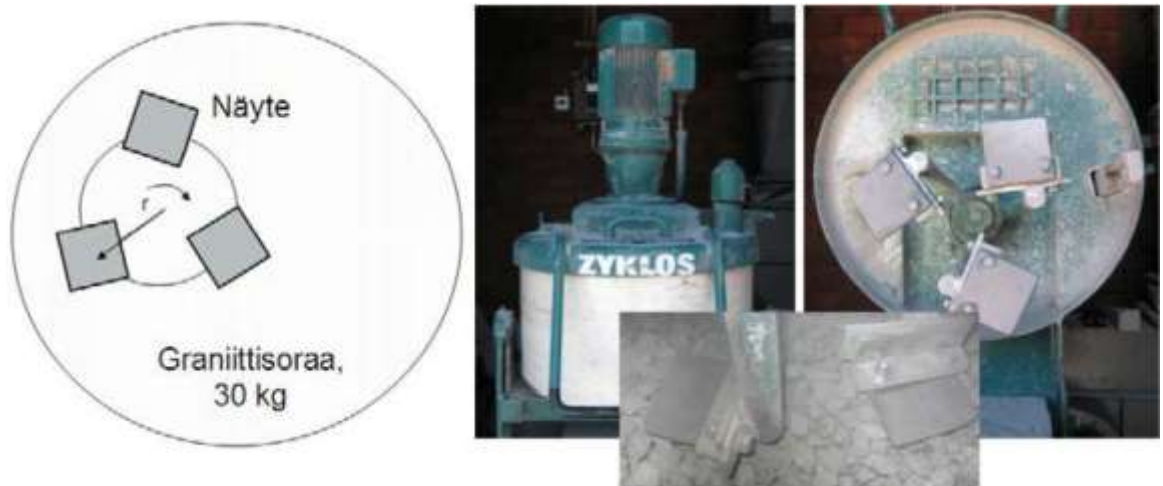
4.4. Kulumiskestävyys tutkiminen

Kulumiskestävyyttä voidaan testata kahdella menetelmällä, kenttä- tai laboriotestillä (Lämsä & Kiuru 2012, 28). Kenttätestauksessa tutkittava materiaali asennetaan käyttökohteeseen, jonka jälkeen sitä käytetään normaalisti. Testin aikana kohteessa olevaa materiaalia tutkitaan erilaisilla mittauksilla, esimerkiksi seisakkien yhteydessä. Kenttätetit antavat hyvän kuvan kohteessa esiintyvän kulutuksen suhteen, mutta samalla se vaatii hyvää suunnittelua ja toteutusta seurannan suhteen. Kenttätestaus vaatii usein huomattavan määrän aikaa ja rahaa (Lämsä & Kiuru 2012, 28). Lisäksi testin kunnollinen dokumentointi voi olla hankalaa. Esimerkiksi kuinka voidaan kauhan huulilevyn kulumisen testata luotettavasti, kun lastauskoneen kuljettajien ajotottumukset ovat erilaiset.

Laboratoriossa suoritettavat kulumistetit ovat huomattavasti kenttätestejä nopeampia ja halvempia suorittaa (Lämsä & Kiuru 2012, 28). Lisäksi niiden dokumentointi ja toistettavuus on vaivattomampaa. Kulumistapahtuma on kuitenkin monimutkainen, usean vaikuttajan summa, joten laboriotetit ovat huomattavasti yksinkertaistettuja kuin

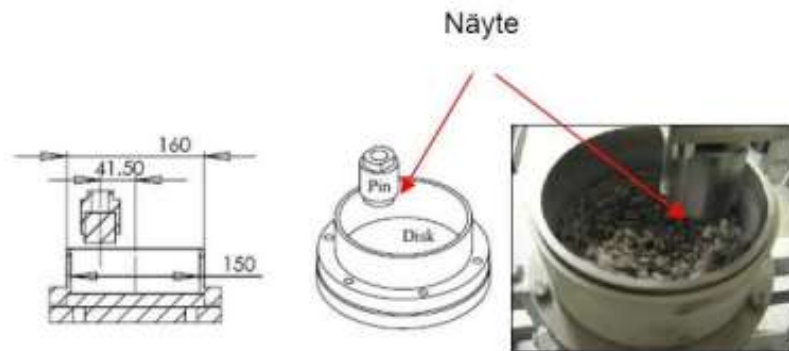
todellisissa olosuhteissa suoritettut kenttätetit. Tämän korvaamiseksi on kehitetty useita testausmenetelmiä, joilla voidaan todentaa erilaisten materiaalien kulumisenkestävyyttä.

Kuvassa 18 on Rautaruukin käyttämä Zyklos-laboratoriosekoitin, jossa kolme testikappaletta on kiinnitetty ruuviliitoksella laitteen akselin päässä oleviin näytteen-pitimiin. Tampereen Wear Centerissä on käytössä Murskaava Pin-On-Disk -koe. (Lämsä & Kiuru 2012, 28).



Kuva 18. Rautaruukin käytössä oleva kulutustestauslaitteisto (Lämsä & Kiuru 2012, 28).

Tampereen Wear Centerissä käytetään murskaavaa pin -on -disk -laitteistoa (Kuva 19), jossa näytettä painetaan pyörivää vastinlevyä vasten hiovalla aineella täytetyssä kupissa. Näytettä puristetaan abrassiivia vasten halutuksi ajaksi ja nostetaan ylös, jotta kupissa oleva abrassiivi vaihtuu näytteen alla ja puristetaan uudestaan abrassiivia vasten. Lepotilassa näyte ja vastinlevy eivät kosketa toisiaan. (Lämsä & Kiuru 2012, 29).



**Kuva 19. Tampereen Wear Centerin murskaava Pin -On -Disk -
kulumislaitteisto(Lämsä & Kiuru 2012, 29).**

Raahen Seudun Teknologiakeskus Oy:n tiloissa käytetään ASTM-standardin mukaista kulumistestauslaitteista (kuva 20), jossa pyörivät rullat siirtävät abrassiivia rullia vasten painettuun koekappaleeseen. Koemateriaalin kulumiskestävyys määritetään pinnan kulumisen mukaisesti. (Lämsä & Kiuru 2012, 29).



Kuva 20. ASTM standardin mukainen kulutuskoe (Lämsä & Kiuru 2012, 29).

4.5. Optiset mittausjärjestelmät

Tässä optisilla mittausjärjestelmillä tarkoitetaan kaikkia niitä järjestelmiä, joilla voidaan mitata ja mallintaa erilaisia kappaleita, vaikka optisen mittauksen määritelmään kuuluukin myös esimerkiksi erilaiset mikroskooppitarkastelut yms. Tämän opinnäytetyön puitteissa

käsitellään lähinnä 3D -mallintamiseen käytettäviä Atos- ja Tritop -järjestelmiä. Kyseiset järjestelmät ovat Gom -yhtiön tuotteita, joilla voidaan mitata optisesti 3D -kappaleita. Näiden järjestelmien yleisimpiä käyttökohteita ovat 3D -skannaus/mallinnus, muodon muutosmittaus, laadunvarmistus ja käänteinen suunnittelu. Järjestelmillä saadaan todelliset 3D -mallit, joita voidaan halutessa vertailla työpiirustuksiin. (Cascade 2012.)

4.5.1. TRITOP- Järjestelmä

Tritop järjestelmä on optinen mittausjärjestelmä, jolla mitataan optisesti koordinaatteja 3D:nä (Gom 2012). Järjestelmä toimii siten, että laitteisto kalibroi itsensä laitteiston mukana tulevan kameran suhteen. Tämän jälkeen voidaan kohde kuvata ja 3D -malli muodostuu eri puolilta otetuista kuvista.

4.5.2. ATOS -järjestelmä

ATOS -järjestelmä (kuva 21) on optinen mittausjärjestelmä, jolla voidaan tutkia kappaleessa tapahtuvia muutoksia. Järjestelmä tutkii ennalta valittuja kohteita ja kirjaa niiden muutoksia, esimerkiksi mittapisteen siirtymää. Suurimpana erona TRITOP -järjestelmään on, että ATOS -mittavälineistö on tarkoitettu pysymään paikallaan, kun taas TRITOP -kameralla on tarkoitus kiertää kohdetta ja ottaa kuvia joka puolelta. Tarvittaessa ATOS -järjestelmään voidaan myös liittää erillinen kääntöpöytä, jolla voidaan kuvata kappale kaikista suunnista. (Gom 2012.) Kuvassa 22 suoritetaan 3D -skannausta ATOS -järjestelmällä.



Kuva 21. ATOS 3D -skannauslaite.



Kuva 22. Kulutuslevyn 3D -skannaus ATOS -järjestelmällä.

5. KULUTUSTA KESTÄVIEN TERÄSTEN VERTAILU

Materiaalivalinnoista puhuttaessa mainitaan usein jonkin tai johonkin käytettävän materiaalin olevan kulutusterästä. Tässä yhteydessä termi kulutusteräs on hieman harhaanjohtava. Monestikaan ei mainita mitä kulutusterästä milloinkin tarkoitetaan. Tämä voi osaltaan johtua yksinkertaisesti tiedon puutteesta. Kulutusta kestäviä teräksiä on useita erityyppisiä ja niiden mekaaniset ominaisuudet, valmistustapa ja käyttökohteet voivat poiketa toisistaan hyvin paljon. Kulutusterästen lisäksi on saatavilla useita erilaisia kulutusta kestäviä pinnoitteita, joilla terästen kulutuksenkestävyyttä voidaan parantaa. Tämän vuoksi tässä kappaleessa käsitellään muutamaa yleisintä kulutusterästyyppiä ja esitellään joitakin tuote-esimerkkejä.

5.1. Mangaaniteräkset

Yleisempiä kulutusteräksiä on mangaaniteräs, jota kutsutaan myös Hadfield-teräkseksi. Se sisältää 1,2– 1,4 % hiiltä ja 12– 14 % mangaania, ja sen kovuus on 500–600 HB. Tyypillisiä mangaaniteräksen käyttökohteita ovat esimerkiksi murskaimien kulutusosat, kaivinkoneiden huulilevyt ja kärjet. (Hakapää & Lappalainen 2008, 340–341). Perusluonteltaan mangaaniteräs on sitkeä, mutta austeniittisen rakenteensa vuoksi se lujittuu voimakkaasti iskumaisessa rasituksessa (Metso 2011, 6). Mangaaniteräs ei sovellu sellaisiin kohteisiin, joissa kulutus on hiertävää tai hankaavaa (Hakapää & Lappalainen 2008, 340–341).

5.1.1. Metso XT

Metso XT on mangaaniseosteinen kulutusteräs, joita on saatavana useita eri luokkia (taulukko 7). Mangaanin osuus seoksesta vaihtelee 11–24 % välillä, riippuen luokasta. Suurempi mangaanin osuus lisää kovuutta, mutta samalla teräksen sitkeys kärsii. Metso XT-terästen kovuus toimitustilassa on 220–250 Hv. Metso XT-teräksiä käytetään tyypillisesti murskaimissa ja muissa iskulujittumista vaativissa kohteissa (Metso 2011, 6–7).

Taulukko 1. Metso XT, saatavana olevat luokat (Metso 2011, 7).

Mn-luokka Seos	
XT510	Matalaseosteinen Hadfield-mangaaniteräs
XT520	Matalaseosteinen mangaaniteräs molybdeeniseostuksella
XT610	Matalaseosteinen mangaaniteräs kromiseostuksella
XT710	Korkeaseosteinen mangaaniteräs kromiseostuksella
XT720	Korkeaseosteinen mangaaniteräs kromiseostuksella
XT750	Korkeaseosteinen mangaani-erikoisteräs
XT770	Korkeaseosteinen mangaani-erikoisteräs molybdeeniseostuksella
XT810	Korkeaseosteinen mangaaniteräs kromiseoksella ja erikoiskäsittelyllä

5.2. Karkaistut kulutusteräkset

Karkaistuja kulutusteräksiä ovat muun muassa erilaiset niukkaseosteiset kromi-molybdeeni, kromi-molybdeeni -nikkeliteräkset ja mikroraeteräkset, joiden kovuus on 400–700 HB. Näiden kulutuslevyjen tyypillisiä käyttökohteita ovat kuormaajien kauhat ja dumpperien lavan vuoraukset. Kohteissa vaaditaan hyvää kulutuskestävyyttä, mutta niissä ei pääse tapahtumaan teräksen kylmämuokkautumista. Kulutusteräkset ovat paremmin hitsattavia kuin mangaaniteräkset. Niiden hitsaus voidaan suorittaa joko kylmänä tai esikuumentamalla riippuen teräksen seosasteesta. (Hakapää & Lappalainen 2008, 340–341.)

5.2.1. Hardox 500 kulutuksen kestävä teräs

Hardox 500 on Svenskt Stål AB:n, lyhennettynä SSAB:n tuotenimike kulutusta kestävä teräkselle. Teräslaatu on kehitetty erityisesti olosuhteisiin, joissa esiintyy abrassiivista kulutusta. Pääasialliset seosaineet ovat raudan lisäksi hiili, mangaani, nikkeli, kromi ja molybdeeni. Näiden seosaineiden osuus vaihtelee hieman levyn paksuuden mukaan. (SSAB Oxelösund AB 2010)

Hardox 500-levyä on saatavilla paksuuksilla 4–80mm. Kulutusteräksen kovuus vaihtelee levyn paksuuden mukaan välillä 470–540 HBW. Hardox 500 levy saa mekaaniset ominaisuutensa karkaisussa ja sammutuksessa, eikä sille suositella yli 250°C:n työskentely lämpötilaa tai toimitustilan jälkeistä lämpökäsittelyä. Tarkemmat mekaaniset ominaisuudet on luettavissa liitteestä 1. (Hardox 500 tuoteseloste 2010, 2.)

5.2.2. Raex 500 kulutuksen kestävä teräs

Raex 500 on Rautaruukin tuotenimike kulumista kestäväälle teräslaadulle. Raex-teräs on kova ja luja rakenneaine, joka on suunniteltu kestämaan abrassiivista kulumista ja kovaa pintapainetta (Rissanen 2011, 7). Mekaanisilta ominaisuuksiltaan Raex- ja Hardox-kulutuslevyt ovat melko lähellä toisiaan. Näiden teräslajien käyttökohteet ovat myös hyvin samanlaiset.

Raex-teräkset ovat toimitustilaltaan karkaistuja, jonka vuoksi niillä on kova ja luja martensiittinen kiderakenne. Rautaruukin kulutuskestävät teräkset karkaistaan suorakarkaisuna, jossa teräs jäähtyy nopeasti heti kuumavalssauksen jälkeen. (Ruukki 2012.)

Raex- teräksiä on saatavilla nauhana vahvuuksilla 2-8mm. Kvarttolevyjä on saatavilla 5–60mm:n vahvuuksilla. (Rissanen 2011, 7.) Tärkeimmät seostusaineet Raex- teräksillä ovat mangaani, kromi ja sinkki (Rissanen 2011, 8). Hiilen määrää seostuksessa nostetaan ainevahvuuden kasvaessa karkenevuuden säilyttämiseksi. Raex terästen mekaaniset ominaisuudet on luettavissa liitteestä 2.

6. KULUTUSTERÄSKOKEILUT KOHTEISSA

Tutkimuksessa ideana on suorittaa kenttäkokeita valituissa kulutusteräskohteissa Kemin kaivoksella. Kokeiden tarkoituksena on selvittää uusien kulutusterästen käyttäytymistä todellisissa käyttötilanteissa. Kokeilussa tullaan vertaamaan keskenään Hardox 500- ja Raex 500-kulutuskestäviä levyjä. Kokeilua varten valmistellaan kaksi testilevyä, yksi kummastakin materiaalista, jolloin niiden keskinäinen vertailu on helpompaa. Eri materiaalien testaamisen lisäksi kokeessa testataan kahta erilaista kiinnitysmenetelmää. Toisessa menetelmässä levy kiinnitetään läpivienti pulttiliitoksella ja toiseen testilevyyn

kokeillaan kaaritapitushitsausta. Kaaritapitushitsausta testataan Raex 500-levyyn. Testien suorittamiseksi 500x250x40 mm kokoiset kulutuslevyt (liite 3) asennetaan paikoilleen seisakin yhteydessä.

6.1. Kulumisen seuranta

Kulutuslevytestien aikana tullaan suorittamaan seuranta siten, että seisakkien aikana testilevyt irrotetaan mittausten ajaksi. Kulumisen seurauksena materiaalin massa pienenee, minkä vuoksi tarkasteltavaksi muuttujaksi valitaan massa. Kulumisen kokonaismäärän suorittamiseksi levyt on punnittava ennen paikoilleen asentamista ja seisakkien yhteydessä levyjen paino tulee tarkistaa. Punnituksen luotettavuuden kannalta on ensiarvoisen tärkeätä, että punnitukseen käytetään todennettuja vaakoja.

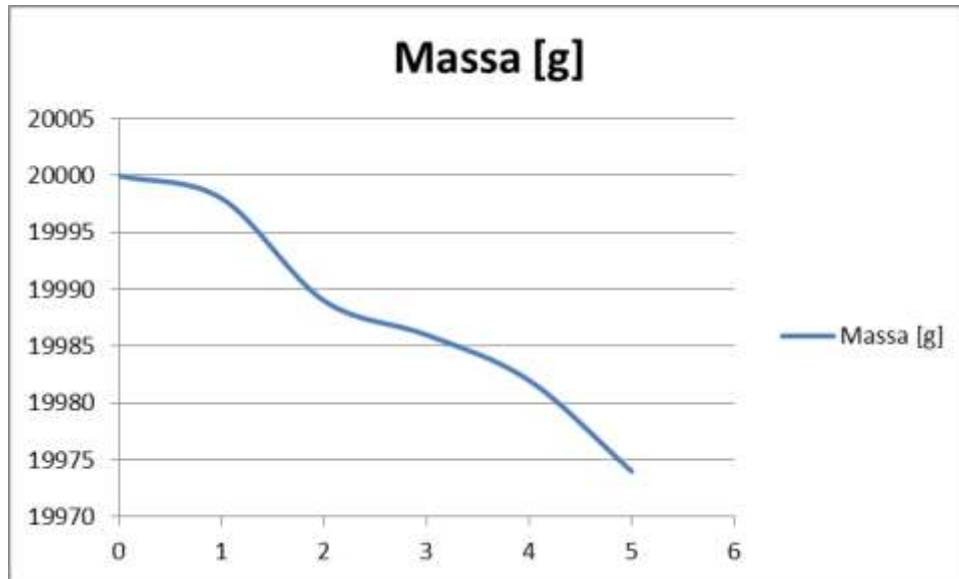
Lisäksi seurannassa tutkitaan kulumisprofiilia ja kulumisen etenemistä optisesti mittaamalla, jolloin testilevyissä tapahtuvan kulumisen voidaan täsmällisesti kohdentaa. Tähän tarkoitukseen voidaan käyttää optisia mittausjärjestelmiä, kuten ATOS- ja Tritop-järjestelmää. Mittauksia on syytä suorittaa jokaisen seisakin yhteydessä, jolloin saadaan tarkennetut kulumisprofiilit mittauksen aikana. Mittauksia on tarkoitus suorittaa kunnes testilevyt kuluvat täysin käyttökelvottomiksi.

Painonmuutoksen ja kulumisprofiilin lisäksi yksi muuttuja on luonnollisesti aika. Jotta voitaisiin luotettavasti esittää minkäänlaisia johtopäätöksiä tai tuloksia, on kyettävä esittämään missä ajassa muutokset ovat tapahtuneet. Tulosesittelyssä voitaisiin esimerkiksi esittää testilevyn massahäviö ajan funktiona. Kuvaajassa 3 on esimerkki siitä, miltä taulukoituja (taulukko 1) tuloksia esittävä kuvaaja voisi näyttää.

Taulukko 2. Esimerkki taulukoitavista muuttujista kulumistestissä

Aika [kk]	Massa [g]
0	20000
1	19998
2	19989
3	19986
4	19982
5	19974

Kuvaaja 3. Esimerkki massa ajan funktiona kuvaajasta.



Esimerkkikuvaajassa ei ole esiteltynä todellisia arvoja kulumistilanteesta, vaan tarkoituksena on tulosesittelyn havainnollistaminen. Kun tarkasteluun otetaan mittauksen aikaväli, voidaan havainnoida useita merkittäviä asioita testistä. Esimerkki kuvaajan sinisellä värillä kuvattu kulumiskäyrä ilmoittaa suoraan, kuinka kauan seuranta on suoritettu testin yhteydessä. Kun verrataan käyrän päätä kuvaajan x-akseliin, saadaan selville testilevyn elinikä, sillä edellytyksellä, että testilevy on annettu kulua loppuun testin aikana. Tässä ajan yksiköksi on valittu kuukausi, mutta yleisesti voidaan ajatella aikayksiköksi normaali seisakkien aikaväli. Tarvittaessa tästä mittausvälistä voidaan kuitenkin poiketa, kunhan varmistetaan, että mittauksia otetaan riittävästi kulutuskäyrän tarkkuuden vuoksi. Kulumiskäyrästä voidaan myös pohtia sitä, kuinka tasaisesti testilevy kuluu. Jos kulumiskäyrä päättyy vain muutaman kuukauden kohdalle ja testilevyn massanmuutos on suhteellisen vähäinen, voidaan päätellä testilevyn kuluneen epätasaisesti ja muutokset kohteen rakenteessa tai materiaalivalinnassa ovat tarpeellisia. Lisäksi optisesti mitatun kulumisprofiilin lisääminen tarkasteluun eri mittauspisteissä tarkentaa kulumisprofiilin havainnoimista. Näin saadaan täsmällistä tietoa kulumisprofiilista ja sen etenemisestä. Testilevyn käytöstä poiston jälkeen voidaan suorittaa tarkempia vaurioanalyysjä, kuten esimerkiksi tarkastelu mikroskoopilla.

6.2. Kulumisteräskokeilun kontrollointi

Kulumisteräskokeilun onnistumisen kannalta erittäin tärkeätä on saada osapuolten sitoumus yhteisten toimintatapojen noudattamisesta. Tässä osapuolilla tarkoitetaan suorittavaa mittaushenkilöstöä ja caseyrityksen henkilökuntaa. Tämä seikka korostuu testien keston mukaan. Esimerkiksi yli vuoden mittaisissa kokeiluissa voi vastaavat ja yhteyshenkilöt vaihtua testin aikana. Tällaisissa tapauksissa on ensiarvoisen tärkeätä, että testauksessa olevat materiaalit eivät häviä, eikä niiden paikkoja vaihdeta ilman tiedonantoa testin seurannasta vastuussa olevalle osapuolelle. Tämä siksi, että kokeilujen tulosten tulkitseminen vaikeutuu tai käy täysin mahdottomaksi siinä tapauksessa, että testiä ei ole viety loppuun sovitulla tavalla tai testattavat materiaalit hävitetään ennen lopullista mittausta.

Siinä tapauksessa, että tutkittavaksi otetaan rakenteellisia muutoksia, on kyettävä hallitsemaan muuttujia. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että muutetaan vain yhtä osaa aluetta rakenteesta. Näin voidaan taata paremmin muutosten aiheuttamien vaikutusten hallitseminen. Pahimmassa tapauksessa muutoksia rakenteisiin tehdään useita ja niiden seurauksena kulutuskohteissa olevien materiaalien käyttöikä lyhenee, eli tapahtuu muutosta huonompaan suuntaan. Tässä tilanteessa voi olla vaikea etsiä yksittäistä syytä tulosten heikkenemiseen ja mahdollisuus korjata tuloksen kannalta merkitsemättömiä kohteita kasvaa.

6.3. Kulutuskohteet Kemin kaivoksella

Kaivosolosuhteissa esiintyy merkittävä määrä erilaisia kulutuskohteita. Näihin lukeutuvat mm. myllyt, murskaimet, kuljettimet ja erilaiset suppilot. Tässä opinnäytetyössä keskitytään tarkastelemaan rikastusprosessin alkupäässä käytettyjä kulutusteräksiä. Pala- ja hienorikastamolla mahdollisesti käytettäviä kulutuskumi- ja keraamimateriaaleja ei tämän opinnäytetyön puitteissa käsitellä.

Rakenneteräksien sijasta suositellaan käytettäväksi lujia ja kulutuksenkestäviä teräksiä, silloin kun normaalin rakenneteräksen lujuus tai kulutuksenkesto ei riitä vastamaan käyttökohteiden vaatimuksia. Lujat rakenneteräokset tulevat myös kysymykseen silloin, kun halutaan korostaa rakenteiden keveyttä. Tyypillisesti rakenteiden keventäminen on erityisen haluttu ominaisuus liikkuvassa kalustossa. Lisäksi lujat rakenneteräokset ovat erinomainen keino lisätä hyötykuormaa. Rakenteiden erityinen keventäminen ei kuitenkaan ole pääasiallinen tarkoitus paikoilleen sijoitetuissa laitteissa, joita ei ole tarkoitukseen siirtää. Sen sijaan kulutusterästen tarkoitus on näissä kohteissa nimensä mukaisesti lisätä kulutuksenkestävyyttä.

6.3.1. Nostotornin vastaanottosuppilo

Ensimmäiseksi kulutusterästen tarkastelukohteeksi valittiin nostotorni, jolla maan alla esimurskattu malmi nostetaan maan päälle. Tässä vaiheessa nostotornin kappi kaataa malmin suppilon kautta purkaussiiloon (Vuolukka 2009, 1). Nostotornin kaatosuppilo on muodoltaan karkeasti rampin mallinen ja se on vuorattu kulutuskestävällä levyllä sekä pohjalta että sivuilta. Tätä suppiloa pitkin louhittu malmi putoaa purkaussiiloon.

Tarkastelun kohteeksi valittiin suppilon alapäässä olevat sivupellit (kuva 23). Nämä Hardox 500 levyistä valmistetut pellit kuluvat eniten loppupäästä, aivan malmin putoamiskohdan vierestä. Tässä kohtaa malmin partikkelikoko on enimmillään 250 mm

(Vuolukka 2009, 1). Kuvassa 26 on esitetty nostotornin sijainti prosessikaaviossa numerolla 1.

Alkuperäisestä tutkimussuunnitelmasta poiketen nostotornin vastaanottosuppilon kulutusmateriaaleille ei tulla soveltamaan tämän opinnäytetyön mukaista testausta, vaan se jätetään aikataulun vuoksi huomioimatta.



Kuva 23. Nostotornin vastaanottosuppilo. Kuluminen kohdistuu pitkille sivulevyille.

6.3.2. Täräsyötin

Purkaussiilon yhteydessä sijaitsee tärykuljetin, joka syöttää esimurskatun malmin hihnakuljettimelle tasaisena virtauksena. Toinen kulutusterästen tarkastelukohde sijaitsee tärykuljettimen ja hihnakuljettimen yhtymäkohdassa. Tärykuljettimesta tasaisesti hihnalle kulkeutuva malmi aiheuttaa huomattavaa kulumista hihnakuljettimen rungolle, minkä vuoksi kuljettimen alkupää on suojattu kulutuslevyillä (kuva 24). Rungon alkupäähän on sijoitettu useita kulutuslevyjä siten, että materiaalivirta osuu joko kulutuslevyille tai

suoraan hihnakuljettimelle. Tässä käytetty kulutusta kestävä materiaali on Hardox 500. Runko ja sen kulutuslevyt muodostavat kourun, jota pitkin koko tärykuljettimen leveydellä kulkeutuva murska valuu myös ylimenevältä osalta kuljetushihnalle.

Tässä kohtaa tärykuljetinta lähimpänä olevat kulutuslevyt altistuvat kulutukselle eniten, joten ne myös kuluvat loppuun kauempana sijaitsevia aikaisemmin. Suurimmaksi osaksi tämä johtune siitä, että alkupään levyihin kohdistuva materiaalivirta on huomattavasti suurempi kuin loppupään. Tämän kompensoimiseksi seisakkien yhteydessä levyjen paikkaa vaihdetaan siten, että eniten kuluneet levyt siirretään taemmaksi ja vähemmän kuluneet niiden paikalle. Tämän opinnäytetyön ja siihen liittyvän tutkimuksen aikana ei kuitenkaan levyjä ole tarkoitus siirtää, vaan niiden annetaan kulua loppuun, jotta saataisiin tietoa todellisesta kulumisen profiilista ja levyjen käyttöiästä. Kuvassa 26 on esitetty tärysyöttimen sijainti prosessikaaviossa numerolla 2.



Kuva 24. Tärysyöttimen hihnakuljetin. Kulutustestin levyt etualalla (8 kpl).

6.3.3. Risteyskohdan purkaussuppilo

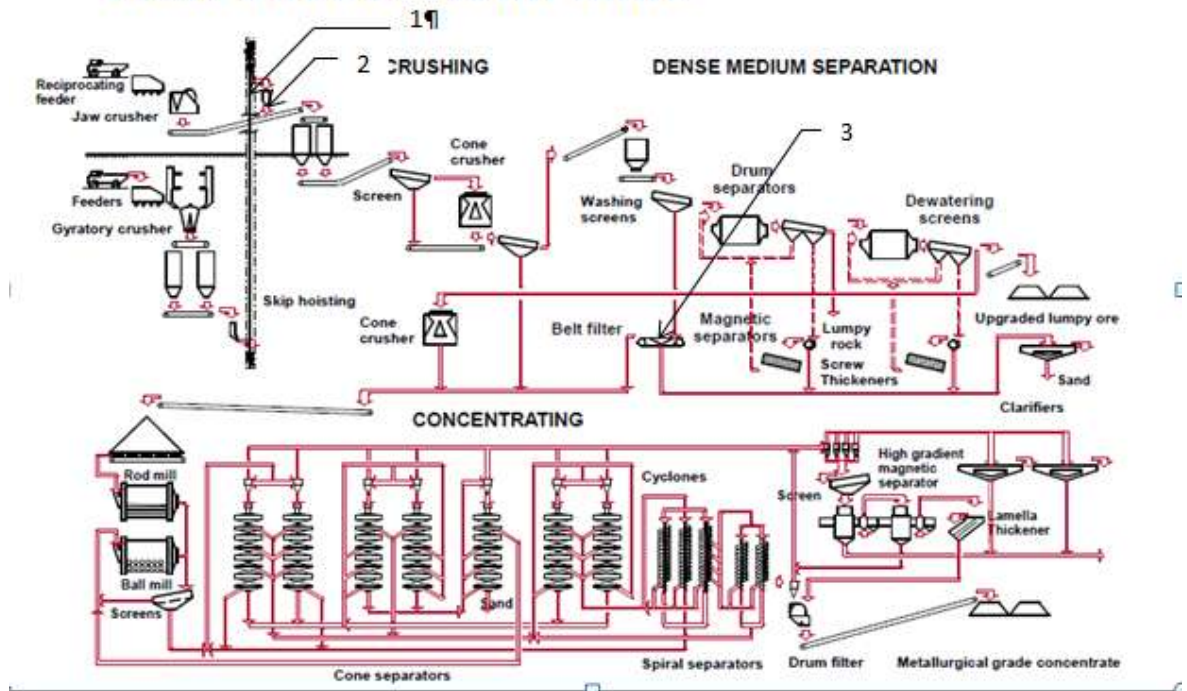
Risteyskohdan kuljettimilla voidaan murskaa viedä kahteen suuntaan, joko palarikastamolle tai hienorikastamolle. Pääasiassa suuntana on Palarikastamo, mutta erikoistapauksissa voidaan malmia ajaa hienorikastamolle. Normaalisti hienorikastamo saa materiaalinsa seulomalla, koska alle 10 mm partikkelikoko ei sovellu palamurskaamon tuotantoon. (Vuolukka 2009, 3.) Purkussuppilon pohja näkyy kuvassa 25 ja risteyskohdan purkaussuppilon sijainti on merkitty kuvaan 26 numerolla 3.

Alkuperäisestä tutkimussuunnitelmasta poiketen risteyskohdan purkaussuppilon kulutusmateriaaleille ei tulla soveltamaan tämän opinnäytetyön mukaista testausta, vaan se jätetään aikataulun vuoksi huomioimatta.



Kuva 25. Purkaussuppilo yläpuolelta katsottuna. Suppilo on suojattu autogeenivuorauksella.

Flow sheet / Kemi Mine



Kuva 26. Kemin kaivoksen prosessikaavio. Tutkittavat kohteet numeroitu 1-3.

6.4. KAIVOKSISSA ESIINTYVÄT OLOSUHTEET

Kaivosolosuhteissa esiintyy merkittävä määrä kulutusta aiheuttavia tekijöitä. Tämä pätee erityisesti avolouhoksissa, joissa joudutaan työskentelemään ulkoilmassa ympäri vuoden. Maanalaisissa louhoksissa sääolojen aiheuttamat ongelmat tulevat esiin lähinnä rikastuksessa. Tässä kappaleessa pohditaan olosuhteiden aiheuttamia, mahdollisia ongelmia kaivostoiminnalle.

6.4.1. Murska

Tässä tutkimuksessa olevien kohteiden merkittävimmän kulumisen aiheuttaa murskan koostumus. Mitä kovempaa kiviaines on, sitä suurempi on myös kohteeseen kohdistava kulutus. Lisäksi suuren partikkelikoon aiheuttamat iskut ovat tyypillisiä kulutuksen aiheuttajia. Tämä asettaa myös ehdot kulutusmateriaaleille kohteissa. Liian kovat materiaalit kärsivät lohkeilusta tällaisissa olosuhteissa. Erilaiset työstöjäljet, kuten pultin reiät, voivat aiheuttaa lohkeilua. Myös voimakasta lämmöntuontia aiheuttavat työstömenetelmät muokkaavat materiaalia ja HAZ:n kohdalle syntyy karkearakeinen vyöhyke, joka voi aiheuttaa ei toivottuja lopputuloksia materiaalin kestävyudessa.

6.4.2. Kosteus

Liiallinen ilmankosteus voi aiheuttaa korroosioaurioita erityisesti kulutuslevyjen taustapuolelle, johon ei varsinaista kuluttavaa materiaalivirtausta kohdistu. Tyypillisesti kaivosten olosuhteet ovat ilmankosteudeltaan merkittävät, jolloin kosteus voi siirtyä louhitun malmin mukana rikastamon ja erityisesti esilouhinnan prosesseihin. Siinä tapauksessa, että korroosioaurioita esiintyy testauskohteissa, on otettava myös kosteusolosuhteet mukaan testattaviin parametreihin.

6.4.3. Syövyttävät aineet

Syövyttäviä kemikaaleja ei juurikaan käytetä kromimalmin rikastuksessa. Kemin kaivoksen rikastusprosessi poikkeaa siten esimerkiksi arvometallien rikastuksesta. Lisäksi tässä opinnäytetyössä käsiteltävät kulutuskohteet sijaitsevat ennen varsinaista rikastusvaihetta, joten veden aiheuttaman korroosion vaikutukset ovat vähäiset.

6.4.4. Kylmyys

Talvella kylmä ilma aiheuttaa ongelmia henkilöstölle ja laitteille. Varsinkin avolouhoksissa työskennellään vallitsevien olosuhteiden keskellä, jolloin erityisesti liikkuva kalusto (lastaus- ja maansiirtokalusto) altistuu kylmän aiheuttamille vaurioille ja toimintahäiriöille. Maanalaisissa kaivoksissa olosuhteet pysyvät jokseenkin samanlaisina kesät talvet, mutta niissäkin kosteuden ja kylmän ilman aiheuttamat haitat ilmenevät talvella, jolloin rakenteisiin alkaa keräytyä jäätä. Tämä aiheuttaa toimintahäiriöitä erilaisiin mitta- ja toimilaitteisiin. Jään kertyminen johtuu suuresta lämpötilaerosta, joka aiheuttaa kosteuden tiivistymisen ja lopulta jäätyminen. Myös kostean materiaalin jäätyminen aiheuttaa ongelmia. Tämän estämiseksi on kehitetty erilaisia menetelmiä, kuten malmin kuivaaminen.

7. JATKOTUTKIMUKSET

Lisätutkimuksena voidaan tämän tyyppistä kulutuslevytestausta soveltaa muillekin kohteille. Erityisesti tarvetta käytettävyyden parantamiselle löytyy esimerkiksi nostotornin vastaanotto suppilon kulutuslevyissä, joissa kuluminen on epätasaista. Kyseisessä kohteessa kuluminen kohdistuu lähinnä pystysuunnassa oleviin sivulevyihin, jotka ovat viimeisenä sivulla. Nämä levyt kuluvat alareunasta, jolloin koko pituudeltaan alas asti yhtenäiset levyt on vaihdettava. Keskeisenä parannusehdotuksena on korvata osa levyistä lyhyemmällä kulutuslevyllä. Lisäksi levyt tällä hetkellä ulottuvat tarpeettoman alas, jolloin ne myös altistuvat turhaan kulutukselle.

Toinen parannuskohde on Nostotornin alapuolella sijaitsevan tärysyttimeen pohja. Tähän kohtaan suunnitellut parannukset kohdistuvat erityisesti rakenteen muutokseen, jossa pohjalevyjen keskinäinen sijoittelu muutetaan siten, että levyt eivät olisi tasavälein vaan porrastetusti. Tämän tarkoituksena on muodostaa autogeenivuoraus, jonka tarkoitus on estää levyjen väliin jäävän raon kuluminen.

Jatkossa tämän tyyppisissä tutkimuksissa voidaan kokeilla kulutusmateriaaleja, joiden kulumisen kestävyys on erilainen verrattuna tämän tutkimuksen puitteissa tutkittaviin Hardox- ja Raex-teräksiin. Esimerkiksi yksi ehdotettu materiaali kaikista eniten kuluviin kohteisiin on Sandvikin valmistama HX900- teräs.

Yleisesti kulutusteräskokeilujen toteuttamista opinnäytetyönä voidaan harkita, mutta mielessä on pidettävä testien kesto. Monesti kulutuslevyt kestävät käyttökohteissaan jopa vuosia, kuluttavasta materiaalivirrasta riippuen, joten noin 2,5 kuukauden mittainen opinnäytetyöprosessi ei aina riitä koko kulumistestin seurantaan.

8. YHTEENVETO JA POHDINTA

Yksinkertaisesti sanottuna kulumisen on massan häviämistä materiaalin pinnalta. Materiaalin kulumiseen vaikuttaa kuitenkin moni osatekijä. Tästä johtuen kulumista ennakoivaa, pelkistettyä kaavaa ei ole kyetty esittämään. Kulumisen tutkimiseen on kehitetty erilaisia laboratoriotestejä, joita voidaan suorittaa nopeammin kuin kentällä tapahtuvia testejä. Kulumiskestävyyden lisäämiseksi on kehitetty erilaisia materiaaleja ja pinnoitteita. Myös hyvällä suunnittelulla voidaan vähentää kulumista.

Tämän opinnäytetyön pohjalta suoritettavien kenttätestien kannalta tärkein asia on tiedon välittäminen. Jokaisen testin parissa työskentelevän on ymmärrettävä kenttätestauksen vaativuus. Tämä tarkoittaa yhtäläillä mittauksen suorittavaa henkilökuntaa kuin case-yrityksenkin henkilökuntaa työnjohdosta kunnossapidon asentajiin. Tämä siksi, että mittauksen suorittavan osapuolen on tiedettävä, mitä testikohteen materiaaleille tehdään tai on tehty. Muussa tapauksessa testin luotettavuus kärsii tai pahimmassa tapauksessa testiä ei voida suorittaa. Tiedonvälityksen tärkeys korostuu henkilökunnan vaihdoksien aikana. Uuden henkilöstön tietoon on saatettava aiemmin sovitut asiat. Näin voidaan estää väärinkäsityksien aiheuttamat vahingot, kuten testausmateriaalien vaihtaminen kesken testin tai niiden täydellinen häviäminen.

Opinnäytetyön tekeminen oli erittäin haasteellista, sillä alun perin asetetut tavoitteet eivät olleet yhden opinnäytetyön aikana kovin helposti saavutettavissa. Tämä johtui suurimmaksi osaksi siitä, että kulutusterästen tutkiminen kenttätestissä on aikaa vievä projekti. Tämän vuoksi tehtävän kuva muuttui oleellisesti työn edetessä ja sen aikana siirryttiin varsinaisesta testauksesta teoriapainotteiseen työhön. Tästä huolimatta opinnäytetyö oli hyödyllinen ja pohjaa rakentava työ, jonka aikana itse opin paljon hyödyllisiä asioita kulumisesta ja kulutusteräksistä. MineSteel projekti, johon tämä opinnäytetyö kuuluu, tulee jatkumaan vuoteen 2014 saakka.

Suunnitellessa vastaavaa kulutuslevytestausta kenttätestinä, olisi luontevampaa suorittaa levyjen mittaaminen etukäteen ja tulosten dokumentointi voitaisiin asettaa opinnäytetyön aiheeksi. Juuri siinä vaiheessa tämä opinnäytetyö voidaan ottaa avuksi. Tämän

opinnäytetyön päätelmät olisivatkin parhaimmillaan ensimmäisenä askeleena kulutusterästen parissa toimivalle henkilölle, jolla ei ole aikaisempaa tietämystä kulutusteräksistä.

9. LÄHDELUETTELO

Bardal, Einar & Drugli, John 2004. CORROSION DETECTION AND DIAGNOSIS. Hakupaivä 26.6.2012. <<http://www.scribd.com/doc/68314334/Corrosion-Detection-and-Diagnosis>>

Cascade internetsivut. Optinen Mittaustekniikka. Hakupaivä 25.4.2012. <<http://www.cascade.fi/optinen-mittaustekniikka/>>

Dwivedi, Dheerendra 2009. Adhesive wear behaviour of cast aluminium–silicon alloys. Hakupaivä 22.5.2012. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026130690900658X>>

Esab, Korjaushitsauskäsikirja osa 3 kovahitsaus, Pdf- dokumentti. Hakupaivä 15.3.2012. <http://www.esab.fi/fi/fi/support/upload/Korjaushitsaus_kovahitsaus.pdf>

Gom internetsivut. TRITOP - Optical 3D Coordinate Measuring Machine. Hakupaivä 25.4.2012. <<http://www.gom.com/metrology-systems/system-overview/tritop.html>>

Gom internetsivut. Atos professional. Hakupaivä 26.4.2012. <<http://www.gom.com/3d-software/atos-professional.html>>

Hakapää, Antero & Lappalainen, Pekka 2008. Kaivos- ja louhintatekniikka pdf. Hakupaivä 2.5.2012.

Kivioja, Seppo 1997. Tribologia – kitka, kuluminen ja voitelu. Helsinki. Otatieto.

Koivisto, Kaarlo 2001. Konetekniikan materiaalioppi. Helsinki. Edita Oyj.

Kunnossapitokoulu 2005. Kunnossapito-lehden erikoisliite. 2, 2005, 3-4

Kömi, Jukka, tekniikan tohtori, Rautaruukki Oyj, Kaivosten vaativien olosuhteiden materiaalit ja niiden elinkaaren hallinta, 18.4.2012.

Liimatainen, Reijo & Sipilä, Timo 2010. Miilux- kulutusteräket. 3. Painos. Raabe. Laatupaino.

Lämsä, Janne & Kiuru, Henrik 2012. Ultralujat rakenne- ja kulutusteräket -tärkeimmät ominaisuudet suunnittelulle. CASR-Steelpolis –verkostohanke. Oulun yliopisto, Oulu.
<<https://wiki.oulu.fi/download/attachments/28082956/Ultralujat+rakenne+ja+kulutuster%C3%A4ket+-+t%C3%A4rkeimm%C3%A4t+ominaisuudet+suunnittelulle.pdf>>

Metso 2011. Kuluminen ja materiaalit – kulutus opas. Hakupaivä 29,6,2012.
<[http://www.metso.com/fi/miningandconstruction/Mining_Construction_FI.nsf/WebWID/WTB-111010-22576-D8851/\\$File/Wear_and_materials_fi.pdf](http://www.metso.com/fi/miningandconstruction/Mining_Construction_FI.nsf/WebWID/WTB-111010-22576-D8851/$File/Wear_and_materials_fi.pdf)>

Mäkinen, Teemu 2003. Alumiinirakenteiden kulumiskestävyyden parantaminen laserpintakäsittelyillä. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Lappeenranta.

Norton, Robert 2002. GlobalSpec internetsivustot, Hakupaivä 22.5.2012.
<<http://beta.globalspec.com/reference/54781/203279/12-3-adhesive-wear>>

Oerlikon. Tribo-chemical reaction. Hakupaivä 22.5.2012.
<<http://www.oerlikon.com/balzers/en/know-how/wear-tribology/tribochemical-reaction/>>

Outokumpu Tornio Works – Kemin kaivos 2007. Saimme toimivan ratkaisun avaimet-käteen pdf.

Parikka, Risto & Lehtonen, Jussi 2000. Kulumismekanismit ja niiden vaikutus laakerien eliniälle. Tekninen raportti. VTT, Espoo.

Pihko, Antti 2010, Kromimalmista jaloteräkseksi pdf.

Rissanen, Tiina 2011. Ultralujien terästen käyttö ja konepajaprosessit. tekninen raportti. Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu, Kemi 2011.

Ruukki 2012. Karkaistava booriteräs. Hakupaivä 4,5, 2012.

<<http://www.ruukki.fi/Tuotteet-ja-ratkaisut/Terastuotteet/Kuumavalssatut-terakset/Kulutusterakset/Karkaistava-booriteras#>>

SSAB Oxelösund AB 2010. Hardox 500 tuoteseloste pdf.

Sundquist, Heikki 1986. Tribologian perusteet. Helsinki. Kuriiri Oy.

Trillmich, Rainer 2009. Miten standardi DIN ISO 14555.2006 määrittelee laadunvarmistuksen kaaritapitushitsauksessa. Hitsaustekniikka 5, 2009, 10.

Verlinden, Andre 1997. Laboratories at Work: Used Oil Analysis at WearCheck.

Hakupaivä 26.6.2012. <<http://www.wearcheck.com/literature/techdoc/WBE001.htm>>

Vuolukka, Petri 2009, Kemin kaivos prosessi ja kulutusosat Pdf. Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu, Kemi 2011.

10. LIITELUETTELO

Liite 1 Hardox- kulutusteräksset

Liite 2 Raex- kulutusteräksset

Liite 3 Testilevyn piirustus

HARDOX®

WEAR PLATE

DATA SHEET: Version 2010-02-01

Hardox 500

Page 1 (2)

ABRASION RESISTANT PLATE

Hardox 500 is an abrasion resistant plate with a hardness of 500 HBW, intended for applications where demands are imposed on abrasion resistance.

Applications

Crushers, sieves, feeders, measuring pockets, skips, cutting edges, conveyors, buckets, knives, gears, sprockets, etc.

Chemical Composition (bottle analysis)

Plate thickness mm	C max %	Si max %	Mn max %	P max %	S max %	Cr max %	Ni max %	Mo max %	B max %	CEV typv.	CET typv.
4 - 13	0,27	0,70	1,60	0,025	0,010	1,00	0,25	0,25	0,004	0,49	0,34
(13) - 32	0,29	0,70	1,60	0,025	0,010	1,00	0,50	0,30	0,004	0,62	0,41
(32) - 40	0,29	0,70	1,60	0,025	0,010	1,00	1,00	0,60	0,004	0,64	0,43
(40) - 80	0,30	0,70	1,60	0,025	0,010	1,50	1,50	0,60	0,004	0,74	0,46

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15}$$

$$CET = C + \frac{Mn + Mo}{10} + \frac{Cr + Cu}{20} + \frac{Ni}{40}$$

The steel is grain refined.

Hardness

	HBW
4 - 32 mm	470 - 530
(32) - 80 mm	450 - 540

Impact Properties

Typical values for
20 mm plate thickness

Test temperature °C	Impact energy (Charpy-V, longitudinal) J
-40 (-40 F)	30

Testing

Brinell hardness, HBW according to EN ISO 6506-1, on a milled surface 0.5-3 mm below plate surface per heat and 40 tons. Tests are made for every variation of 15 mm in the thickness of plates from the same heat.

Delivery Conditions

Q.

Dimensions

Hardox 500 is supplied in plate thicknesses of 4 - 80 mm. More detailed information on dimensions is provided in our brochure 40-General product information Weldox, Hardox, Armax and Toolox-UK.

Ominaisuudet

Toimitusehdot

Raex-teräs toimitetaan karkaistuna.

Kovuusarvot

Teräslaji	Paksuus mm	Kovuus (HBW)	Tuotemuoto
Raex 300	2.5 - 8.0	270 - 390	Nauhalevyt
Raex 400	2.5 - 6.4	380 - 440	Nauhalevyt
Raex 400	6 - 30	380 - 440	Kvartilevyt
Raex 400	30.01 - 40	380 - 480	Kvartilevyt
Raex 450	3.0 - 6.4	420 - 500	Nauhalevyt
Raex 450	6 - 30	420 - 500	Kvartilevyt
Raex 450	30.01 - 40	420 - 520	Kvartilevyt
Raex 500	4.0 - 5.0	450 - 540	Nauhalevyt
Raex 500	6 - 40	450 - 540	Kvartilevyt

Aineenkoetus

Kovuus mitataan Brinellin asteikolla (HBW) standardin EN ISO 6506-1 mukaisesti 0,3–2 mm:n syvyydestä koneistetusta teräspinnasta. Mittausvyvyys määräytyy tuotemuodon ja levypaksuuden mukaan.

Tyypilliset mekaaniset ominaisuudet

Teräslaji	Myötölujuus $R_{p0.2}$ MPa	Murtolujuus R_m MPa	Murtovenymä A_5 %	Iskusitkeys Charpy V 20 J
Raex 300	900	1000	11	-40 C
Raex 400	1000	1250	10	-40 C
Raex 450	1200	1450	8	-40 C
Raex 500	1250	1600	8	-30 C

Kemiallinen koostumus

Teräslaji	Pitoisuus % enintään (sulatusanalyysi)								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B
Raex 300	0.18	0.80	1.70	0.025	0.015	1.50	1.00	0.50	0.005
Raex 400	0.25	0.80	1.70	0.025	0.015	1.50	1.00	0.50	0.005
Raex 450	0.26	0.80	1.70	0.025	0.015	1.00	1.00	0.50	0.005
Raex 500	0.30	0.80	1.70	0.025	0.015	1.00	1.00	0.50	0.005

Lisäksi mikroseostusaineena voidaan käyttää alumiinia (Al) ja/tai titaania (Ti).

Tyypilliset hiilikvivalenttiarvot (CEV)

$$CEV = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$$

Teräslaji	Paksuus mm	CEV	Tuotemuoto
Raex 300	2,5 - 8	0,46	Nauhalevyt
Raex 400	2,5 - 4	0,46	Nauhalevyt
Raex 400	4,01 - 6,4	0,53	Nauhalevyt
Raex 400	6 - 20	0,42	Kvarttolevy
Raex 400	20,01 - 30	0,50	Kvarttolevy
Raex 400	30,01 - 40	0,56	Kvarttolevy
Raex 450	3 - 6,4	0,52	Nauhalevyt
Raex 450	6 - 30	0,47	Kvarttolevy
Raex 450	30,01 - 40	0,57	Kvarttolevy
Raex 500	4 - 5	0,54	Nauhalevyt
Raex 500	6 - 40	0,57	Kvarttolevy

Esikäsittelypalvelut

Konepajapohjamaalatut levyt

Konepajapohjamaalaus antaa teräkselle väliaikaisen korroosiosuojan kuljetuksen, väliaikaisen säilytyksen ja konepajakäsittelyn ajaksi. Pohjamaalaus parantaa työpaajaympäristön siisteyttä ja työturvallisuutta. Pohjamaalattujen levyjen leikkaus ja hitsaus on helppoa. Lisäksi se ehkäisee huomattavasti räiskeiden kiinnittymistä teräksen pintaan.

Muotoleikatut levytuotteet

Muotoleikatujen levytuotteiden käyttö lyhentää asennusaikaa. Asiakkaille toimitetaan asennusvalmiit komponentit. Näin vältetään tarpeettomia materiaali- ja varastointikustannuksia. Tuotteita voidaan tilata myös konepajapohjamaalattuina, viistettyinä ja taivutettuina.

Käsittelyohjeet

Hitsaus ja terminen leikkaus

Raex-terästen hitsattavuus on kehitetty kulusterästen parhaimmistoon. Teräslajien Raex 400, Raex 450 ja Raex 500 hitsausohjeet sekä terminen leikattavuuden erityispiirteet on esitetty erillisellä ohjelehdellä erillisessä teknisessä esitteessä.

Kylmämuovaus

Raex-terästen kylmämuovausominaisuudet on kehitetty kulusterästen parhaimmistoon. Raex 300/400/450 -teräksiä voi kylmämuovata 20 mm:n paksuuteen asti 60 taulukon mukaisesti. Muovauslämpötilan on oltava vähintään +20 °C ja korkeintaan +200 °C.

